



# 污水生物 与 化学处理 技术

国家城市给水排水  
工程技术研究中心 译

中国建筑工业出版社

Wastewater  
Treatment  
Biological and  
Chemical  
Processes

Mogens Henze  
Poul Harremoës  
Jes La cour  
Jansen · Erik  
Arvin  
Second Edition

CHINA ARCHITECTURE  
& BUILDING PRESS

847

X703.1  
H39  
1

# 污水生物与化学处理技术

Mogens Henze  
Jes la Cour Jansen

Poul Harremoës  
Erik Arvin

国家城市给水排水工程技术研究中心 译

中国建筑工业出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

污水生物与化学处理技术/ (丹麦) 汉斯 (Henze, M.) 著;  
国家城市给水排水工程技术研究中心译.—北京:  
中国建筑工业出版社, 2000

书名原文: Waste Water Treatment Biological and Chemical  
Processes Second Edition

ISBN 7-112-04167-8

I. 污… II. ①汉… ②国… III. ①污水处理: 生物处理  
②污水处理: 化学处理 IV. X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 14070 号

责任编辑 俞辉群  
责任设计 汤小平

## 污水生物与化学处理技术

Mogens Henze Poul Harremoës  
Jes la Cour Jansen Erik Arvin 著  
国家城市给水排水工程技术研究中心 译

\*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

新华书店经销

北京市昌平新兴胶印厂印刷

\*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 17.5 字数: 421 千字

1999 年 12 月第一版 2001 年 7 月第二次印刷

印数: 2201—3200 册 定价: 69.00 元

ISBN 7-112-04167-8

TU·3294 (9643)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

# 第 1 章 污水的水量水质特性

Mogens Henze

## 1.1 污水水量

污水流量具有不稳定和不均匀性，每年、每月、每日、每时都不相同。当筹建一座污水处理厂时，掌握现有污水量、未来污水量及其变化是相当重要的。以污水的相关理论为基础，并考虑将要处理的污水，便可以进行污水处理厂的设计。与此相关，进行水量的测定是有用的，若没有这样的测定数据，就应该做一下估算。对未来污水水量，当然要考虑发展变化，例如，应该做一下分析预测。

### 1.1.1 污水水量的确定

污水水量可用曲线法或图表法（计量）确定，图 1.1 给出了某处理厂的污水量昼夜变化情况，该曲线为生活污水量、工业废水量、公共设施污水量、入渗水量和渗漏水量的总和。没理由把各个具体排放者的污水量作为曲线，以表示到达处理厂的污水量。但在预测污水量及其变化时，建议通过分解各支流污水来分析该曲线和汇水面积，这是因为分别预测各支流污水比较容易，这将在 1.2 节和 1.5 节中作简要论述。在污水处理厂取样和测定往往是困难的，必须注意回流水（如上清液）的流量，因为它们一般在格栅和沉砂池之前混入原污水之中，使原污水难以准确测定。

图 1.1 所示的曲线，可用来查找所要查询日期的最大小时流量（ $190 \text{ m}^3/\text{h}$ ）和平均小时流量。若能得到足够数量的日流量变化测定值，就可计算出构成处理厂设计组成部分的两个重要参数，也就是：

$Q_{h,\max}$ ——某日最大小时流量的平均值（ $\text{m}^3/\text{h}$ ）；

$Q_{h,\text{av}}$ ——多日平均小时流量（ $\text{m}^3/\text{h}$ ）。

最大小时流量  $Q_{h,\max}$ ，可根据若干个最大小时流量计算出来。最大小时平均流量  $Q_{h,\max}$  还可用作污水管道和塘的水力设计基础。平均小时水量  $Q_{h,\text{av}}$  或平均日水量  $Q_{d,\text{av}}$  可用于运行费用的计算。

### 1.1.2 污水水量的统计分析

通过数据的统计处理，可得到一个更详细的污水变化信息。水量的变化（24 h 内的流量、最大小时流量、最大秒流量等）通常呈正态分布或对数正态分布。由于不规则数据的存在，污水数据组不可能是理想的，若不规则数据太多，就需要对数据进行特殊处理。

在污水处理厂设计中，百分比图可以作为一个重要的工具。图 1.2 给出了一个这样的例子，60%时的数值通常作为平均负荷，而 85%~90%时的数值作为最大负荷。

按时间顺序排列收集到的数据，可直观显示出污水数据的若干种不规则类型，例如：跳跃、趋势（增加或减少）和变化（例如呈现周变化或季变化）。

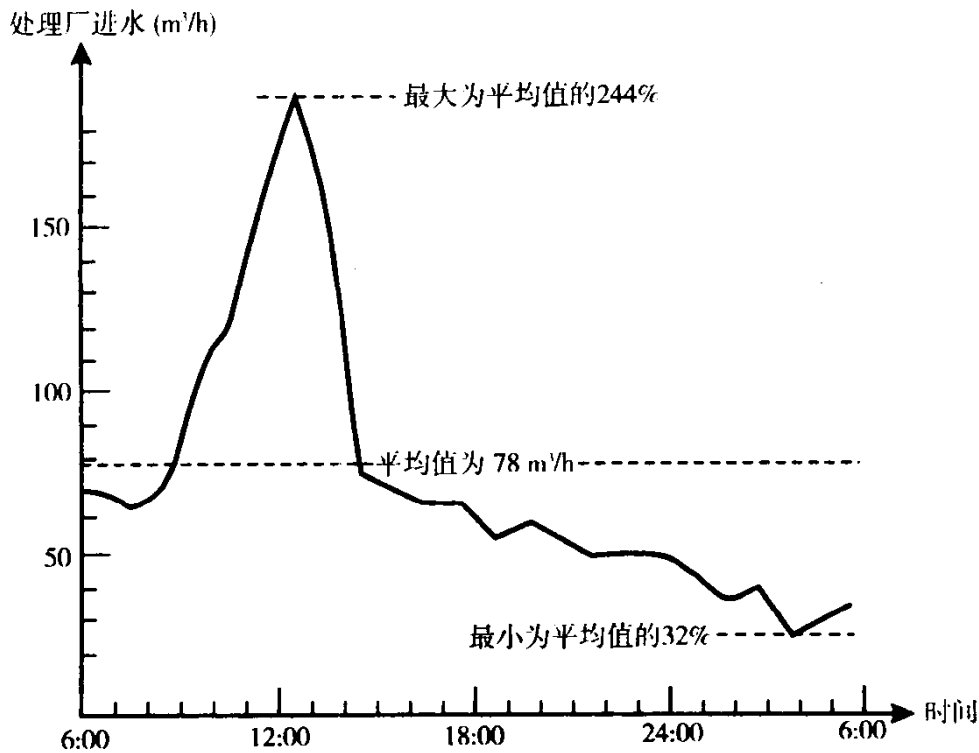


图 1.1 Tuelsø 污水处理厂进水情况 (丹麦, 1980 年 7 月 10~11 日) [1]

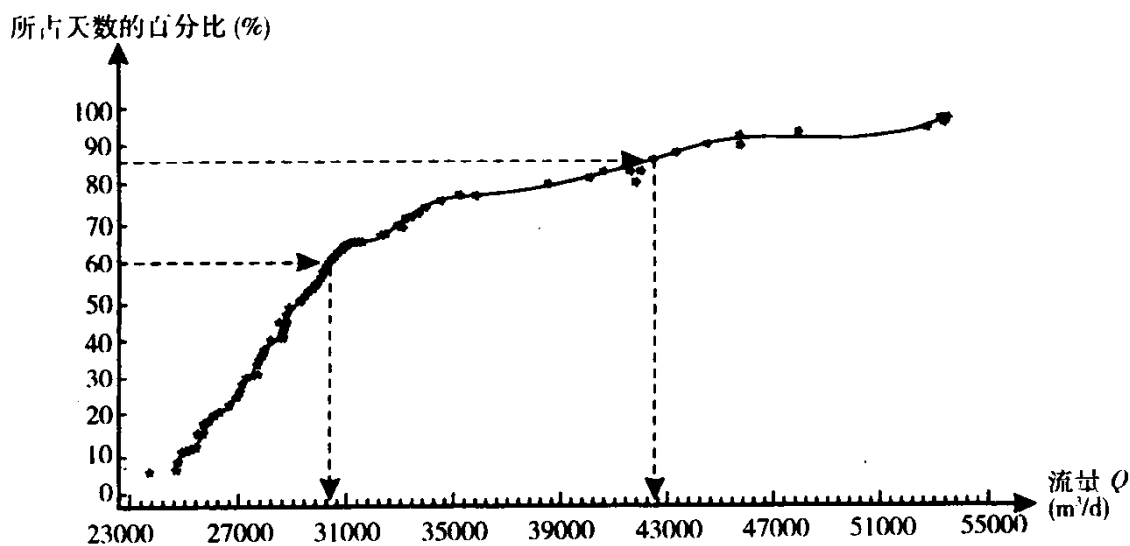


图 1.2 1984~1989 年期间丹麦 Lundtofte 污水处理厂的进水百分比分布图  
在此, 60%的百分比数值确定为  $Q_{d,av}$ , 即  $30\,400\text{ m}^3/\text{d}$ , 而 85%的百分比数值确定为  $Q_{d,max}$ , 即  $42\,500\text{ m}^3/\text{d}$ , 数据取自参考资料[24]

在参考资料中[9], 描述了检验不规则性的简便方法。图 1.3 中所示的进入 Søholt 处理厂 (丹麦) 的进水数据是按时间顺序排列的, 从图上看, 每天大于 4 mm 的降雨量对进水产生了怎样的影响, 同样可看出明显的周变化, 每逢周六和周日时, 进水量是低的。

通过对数坐标纸上绘制一组数据可以确定这些数据是按正态分布, 还是按对数正态分布。用普通等分 X 轴坐标纸绘图, 正态分布的数据为一条直线, 当在带有对数刻度 X 轴的对数坐标纸上绘图时, 对数正态分布的数据为一条直线。通过绘图, 可以找出平均值 (平均数值) 和分布范围。应注意, 在对数正态分布中的平均值与 50% 的概率值是不相吻合的, 必须依据表 1.1 的公式计算。

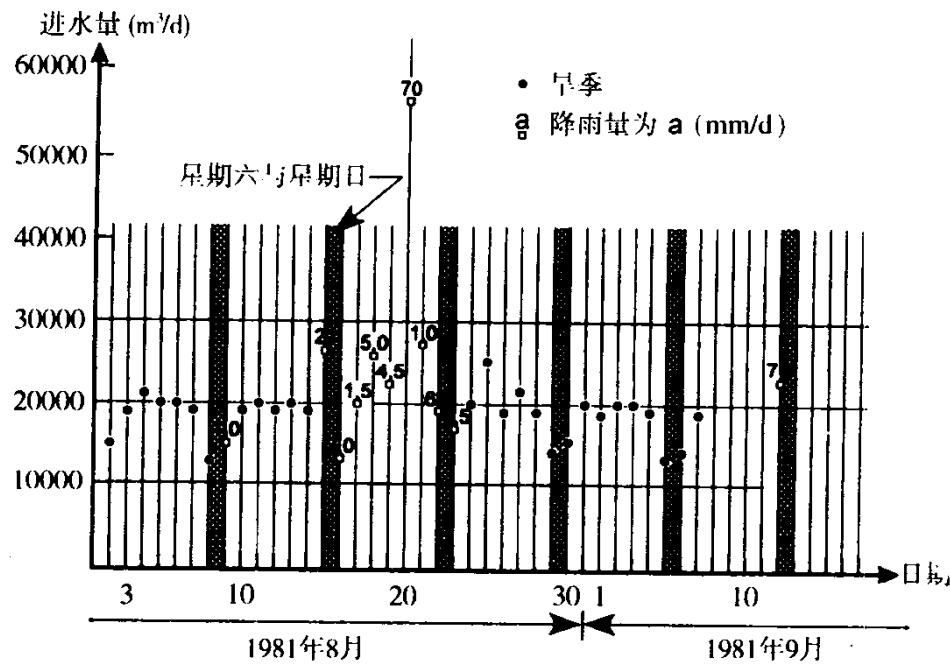


图 1.3 Søholt 污水处理厂进水 (丹麦 Silkeborg)

在对数坐标纸上绘制数据线确定平均值和分布范围

表 1.1

正态分布 (在带标准 X 轴的对数坐标纸上成直线)		对数正态分布 (在带对数 X 轴的对数坐标纸上成直线)	
平均值	$\bar{X} = f(50\%)$	$\lg \bar{X} = \lg [f(50\%)] + 1.1513 s^2$	
分布范围	$s = f(84\%) - f(50\%)$	$s = \lg [f(84\%)] - \lg [f(50\%)]$	
或	$s = f(50\%) - f(16\%)$	或 $s = \lg [f(50\%)] - \lg [f(16\%)]$	

图 1.4 为对数坐标纸上绘出的丹麦 Sjælsø 处理厂进水量数据图, 显而易见, 最大小时流量  $Q_{h,max}$  和每日的进水量可假定为对数正态分布, 而最大秒流量却不是规则的直线。

图 1.5 绘出了在旱季若干天内, 流到丹麦 Ejby Mølle 处理厂的最大小时流量图。这些数据点在普通对数坐标纸上具有相当好的线性, 可以把它们作为正态分布对待, 最大小时平均流量  $Q_{h,max}$  可按 50% 的概率读出:  $Q_{h,max} = 3\ 175\ m^3/h$

**【例 1.1】** 流入 Ejby Mølle 处理厂的旱季最大小时流量分布范围是多少? 旱季最大小时流量小于  $3\ 650\ m^3/h$  的天数占旱季天数的百分数是多少?

$$s = f(84\%) - f(50\%) = 3\ 525 - 3\ 175 = 350\ m^3/h$$

分布范围  $s$ , 可确定为 84% 概率曲线值与 50% 概率曲线值之差, 见表 1.1。

借助于该曲线, 可得出 90% 的天数, 最大时流量将小于或等于  $3\ 650\ m^3/h$ 。

### 1.1.3 污水水量的估算

如果不能获得足够的污水流量测定数据, 就必须进行估算和计算, 为此目的, 可以将污水分成具有代表性的几个组成部分:

- 生活污水;
- 工业和公共设施污水;
- 入渗水。

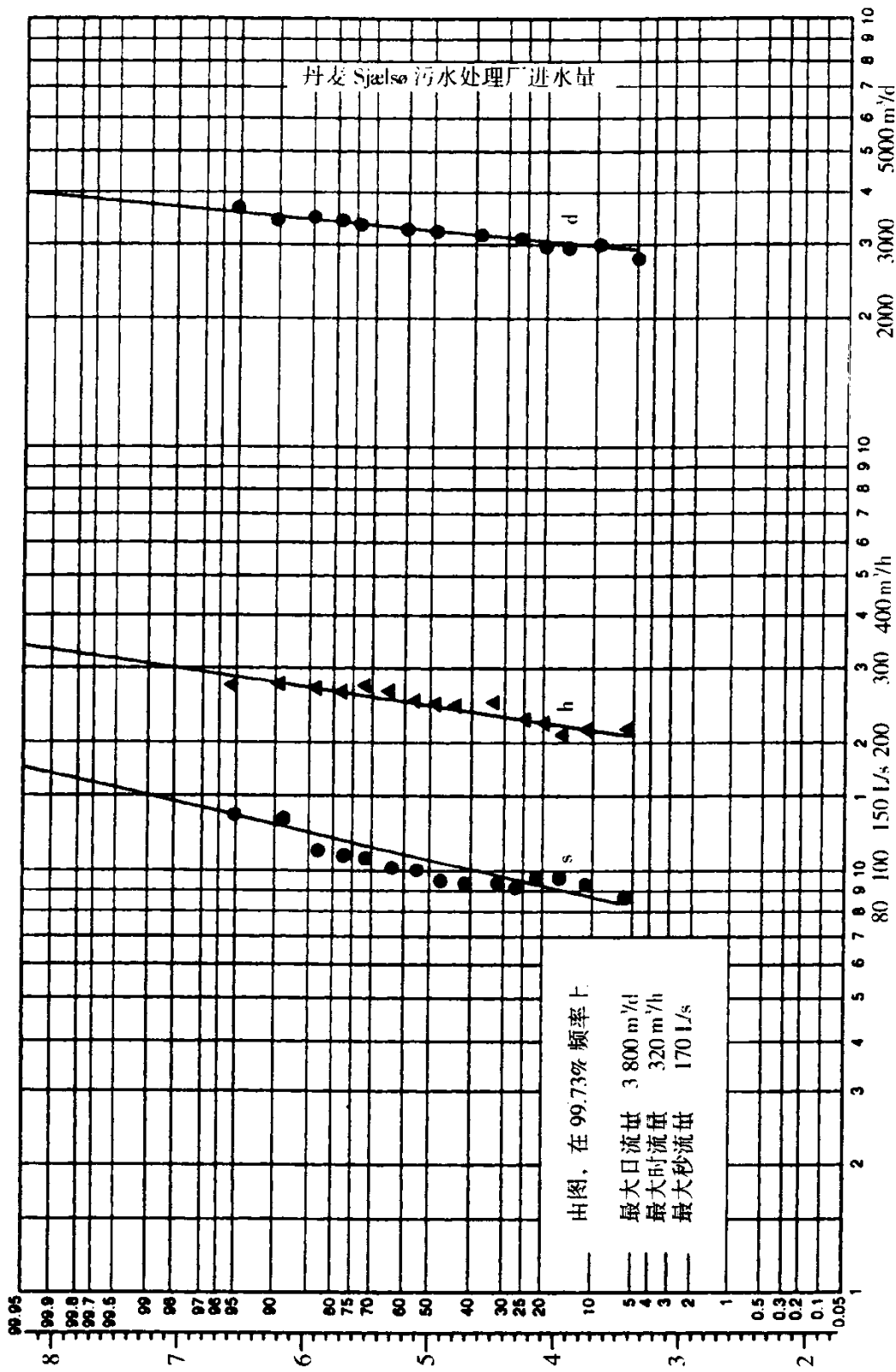


图1.4 丹麦 Birkerød, Sjaelso 污水处理厂进水量<sup>[10]</sup>

就生活污水而言, 可按图 1.6 所示的方法计算, 这种算法的基础是人口数及其每年所产生的污水量  $Q_{yr,pers}$ 。在表 1.2 中给出了  $Q_{yr,pers}$  的数值概念, 但所表示的仅是粗略的近似平均值。根据年污水量, 可进行其他计算或估算, 见图 1.6。

**【例 1.2】** Heraklion 城位于希腊克里特岛的北部沿海地区, 她拥有一个精美的博物馆, 博物馆内藏有来自附近古城 Knossos 的物品, 确实值得一游。

不包括入渗和渗漏水量, 计算克里特岛上 Herakloin 城的最大小时生活污水量, 人口总数共计 12 万人。

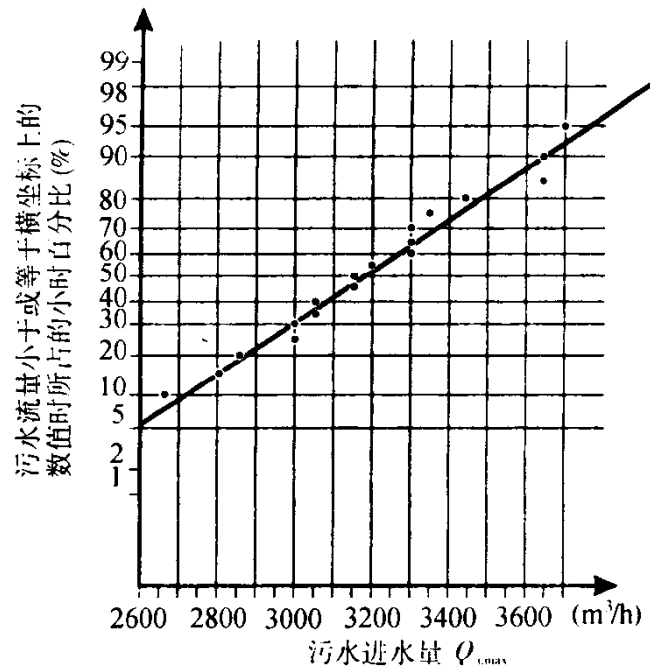


图 1.5 丹麦 Odense 的 Ejby Mølle 污水处理厂进水（无降雨日数个 24 h 周期的数据）<sup>[20]</sup>

人均污水量（不包括工业污水）<sup>[2][3][4][5][6][7][8]</sup>

表 1.2

国家	年份	m <sup>3</sup> / (人·a) (不包括入渗水量)	m <sup>3</sup> / (人·a) (包括入渗水量)	国家	年份	m <sup>3</sup> / (人·a) (不包括入渗水量)	m <sup>3</sup> / (人·a) (包括入渗水量)
阿尔巴尼亚	1977		60	瑞士	1976	95	
阿尔及利亚	1977	40		西班牙	1969	50	
澳大利亚	1981		90	西班牙	1977	90	
奥地利	1969	50		瑞典	1970	85	
比利时	1969	30		瑞典	1976	75	
巴西	1975		90	瑞典	1978	85	
丹麦	1982	55		叙利亚	1977	35	
埃及	1977	55		荷兰	1970	35	
芬兰	1973		210	荷兰	1976	50	
法国	1975		75	突尼斯	1977	30	
法国	1976	35		土耳其	1977	50	
希腊	1975	60		英国	1969	60	
意大利	1970	85		英国	1976		70
意大利	1972	80		美国	1977	140	
挪威	1978	55		西德	1970	40	
瑞士	1969	100		西德	1976	55	

从表 1.2 查到，希腊每人每年污水量大约为 60 m<sup>3</sup>。

$$Q_{\text{yr,pers}} = 60 \text{ m}^3/(\text{a}\cdot\text{人})$$

$$N = 120\,000 \text{ 人}$$



$$Q_{yr} = Q_{yr,pers} N = 60 \text{ m}^3/(\text{a}\cdot\text{人}) \times 120000 \text{ 人}$$

$$Q_{yr} = 7.2 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$$

$$Q_{d,av} = Q_{yr} / 365 = (7.2 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}) / 365 = 19700 \text{ m}^3/\text{d}$$

小时系数  $t_{h,d}$ , 按一般城镇确定为 15 h/d (见图 1.6)。

$$Q_{h,max} = Q_{d,av} / t_{h,d} = (19700 \text{ m}^3/\text{d}) / (15 \text{ h/d}) = 1315 \text{ m}^3/\text{h}$$

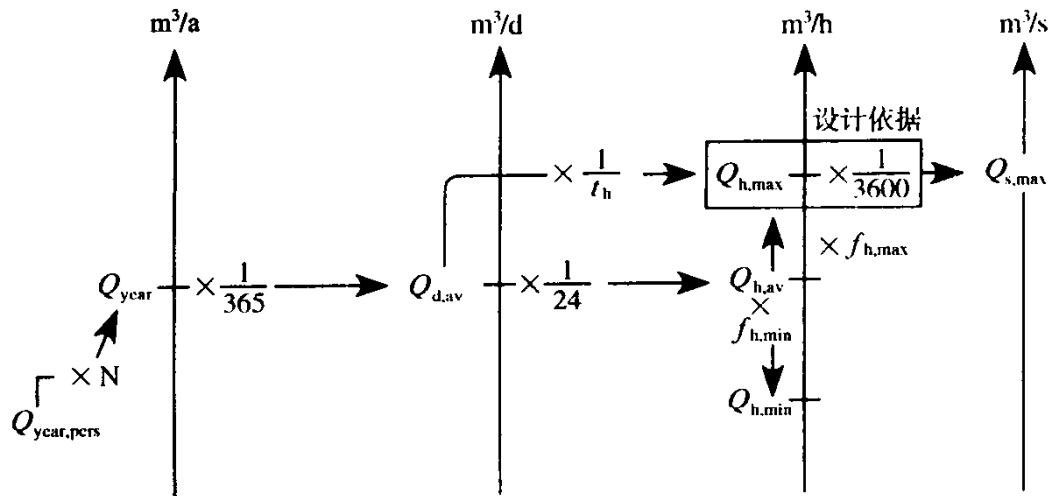


图 1.6 生活污水流量计算

生活污水量:

$$Q_{yr,pers} = 50 \sim 100 \text{ m}^3/(\text{人}\cdot\text{a}) \text{ (见表 1.2)}$$

$$t_{h,d} = 14 \sim 18 \text{ (大城镇)}$$

$$10 \sim 14 \text{ (小城镇)}$$

$$f_{h,max} = 1.3 \sim 1.7 \text{ (大城镇)}$$

$$1.7 \sim 2.4 \text{ (小城镇)}$$

$$f_{h,min} = 0.2 \sim 0.4$$

$Q_y$  —— 旱季, 年污水量 ( $\text{m}^3/\text{a}$ );

$Q_{yr,pers}$  —— 每人每年的污水量 ( $\text{m}^3/\text{a}$ );

$Q_{d,av}$  —— 旱季, 一年内, 污水平均日流量 ( $\text{m}^3/\text{d}$ );

$Q_{h,av}$  —— 旱季, 一年内, 污水平均时流量 ( $\text{m}^3/\text{h}$ );

$Q_{h,max}$  —— 旱季, 一年数天内, 污水最大时流量 ( $\text{m}^3/\text{h}$ );

$Q_{s,max}$  —— 旱季, 最大平均时流量内, 污水平均秒流量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ );

$Q_{h,min}$  —— 旱季, 一年的数天期间, 污水最小时流量 ( $\text{m}^3/\text{h}$ );

$N$  —— 人数;  $t_{h,d}$  —— 时变化系数 ( $\text{h/d}$ );

$f_{h,max}$  —— 最大时变化系数;  $f_{h,min}$  —— 最小时变化系数

对于工业和公共设施污水, 可按图 1.7 所示步骤进行计算, 在这里基本算法还是每年产生的污水, 对于工业污水, 常用生产单位产品产生的污水量和每年生产单位产品的数量来计算 (以酿酒厂为例, 年产  $10^6$  百升啤酒, 每百升产  $0.6 \text{ m}^3$  污水, 酿酒厂总污水产生量为  $0.6 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ )。表 1.3 给出了各种不同工业的污水产生量概况, 而表 1.4 给出的则为各种公共设施污水的基本数据。

**【例 1.3】** 年洗 12000 t 的洗衣房, 计算最大时污水流量 (每周 5 d 工作日, 每个工作日工作 14 h) ?

从表 1.3 找出, 洗衣房每洗 1 t 衣物产生  $20 \sim 60 \text{ m}^3$  污水, 在此, 估算为每洗 1 t 产生  $50 \text{ m}^3$  污水。

$$Q_{yr} = (12000 \text{ t/a}) \times (50 \text{ m}^3/\text{t}) = 600000 \text{ m}^3/\text{a}$$

每年的工作日数  $t_{d,yr}$  估算为:

$$45 \text{ w/a} \times 5 \text{ d/w} = 225 \text{ d/a}$$

$$Q_{d,av} = Q_{yr} / t_{d,yr} = (600\,000 \text{ m}^3/\text{a}) / (225 \text{ d/a}) = 2\,670 \text{ m}^3/\text{h}$$

时变化系数  $t_{h,d}$  估算为 12 h/d (14 h 工作期间, 每小时产生的污水不相同)

$$Q_{h,max} = Q_{d,av} / t_{h,d} = (2\,670 \text{ m}^3/\text{d}) / (12 \text{ h/d}) = 220 \text{ m}^3/\text{h}$$

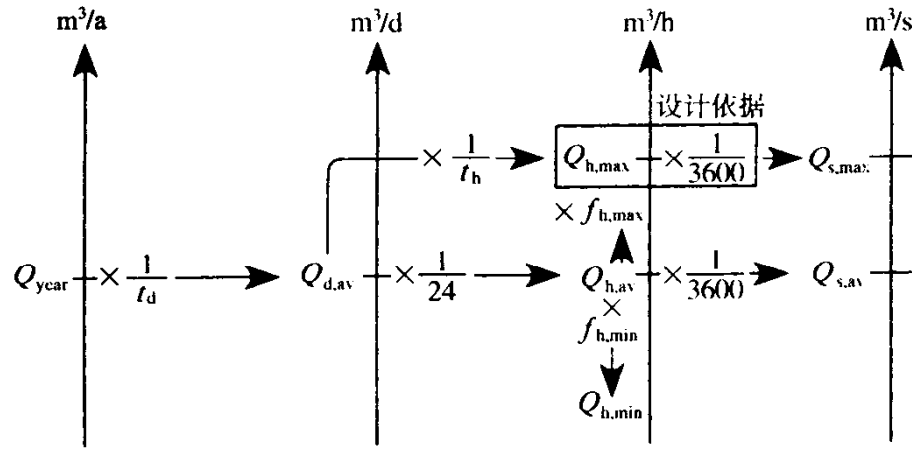


图 1.7 工业及公共设施污水量计算

工业及公共设施污水量

- $Q_{yr}$  = 可变性最大 (见表 1.3 和表 1.4)
- $t_{h,yr}$  = 100~365 (典型值 225~275)
- $t_{h,d}$  = 4~24 (典型值 6~8)
- $f_{h,max}$  = 1~6 (典型值 3~4)
- $f_{h,min}$  = 0.1~0.2

- $Q_y$  —— 旱季, 年污水量 (m³/a);
- $Q_{d,av}$  —— 旱季, 一年内污水平均日流量 (m³/d);
- $Q_{h,av}$  —— 旱季, 一年内污水平均时流量 (m³/h);
- $Q_{h,max}$  —— 旱季, 一年内数天, 污水最大时流量 (m³/h);
- $Q_{s,max}$  —— 旱季, 平均最大小时内平均秒流量 (m³/s);
- $Q_{s,av}$  —— 在一年期间平均小时内污水平均秒流量 (m³/s);
- $Q_{h,min}$  —— 旱季, 在一年的数天期间, 污水最小时流量 (m³/h);
- $t_{d,yr}$  —— 日变系数 (d/a);      $t_{h,d}$  —— 时变化系数 (h/d);
- $f_{h,max}$  —— 最大时变化系数;      $f_{h,min}$  —— 最小时变化系数

工业污水种类、单位产量和浓度 (1 kg BOD<sub>7</sub> 约相当于 0.85 kg BOD<sub>5</sub>) [12] 表 1.3

工业/产品	耗水量	单位产品 (原料)污水产量	单位产品 污染物产量	污染物浓度 (含量)	备注
奶品场					
市售牛奶	0.7~0.2 m³/t	0.7~1.7 m³/t	0.4~1.8 kg BOD <sub>7</sub> /t	500~1 500 g BOD <sub>7</sub> /t	t = t 牛奶
乳酪	0.7~3.0 m³/t	0.7~2.0 m³/t	0.7~2.0 kg BOD <sub>7</sub> /t	1 000~2 000 g BOD <sub>7</sub> /t	注意: pH 变化/排放
综合产品	0.7~2.5 m³/t	0.7~2.0 m³/t	0.7~2.0 kg BOD <sub>7</sub> /t	1 000~2 000 g BOD <sub>7</sub> /t	
屠宰场					
屠宰		3~8 m³/tp	7~16 kg BOD <sub>7</sub> /tp	500~2 000 g BOD <sub>7</sub> /tp 10~20 g TP/tp	tp = t 产品 注意: 强气味, 浓毛,
屠宰+肉制品		3~12 m³/tp	10~25 kg BOD <sub>7</sub> /tp	500~2 000 g BOD <sub>7</sub> /tp	消毒剂, 耗水量变化
肉制品		1~15 m³/tp	6~15 kg BOD <sub>7</sub> /tp	500~1 000 g BOD <sub>7</sub> /tp	大小取决于生产种类
酿酒厂					m³ = m³ 产品
啤酒和软饮料	3~7 m³/m³	3~7 m³/m³ <sup>*</sup>	4~15 kg BOD <sub>7</sub> /m³	1 000~3 000 g BOD <sub>7</sub> /m³	注意: 高 pH

续表 1.3

工业/产品	耗水量	单位产品(原料) 污水产量	单位产品 污染物产量	污染物浓度 (含量)	备注
罐头厂					
土豆(干法去皮)	2~4 m <sup>3</sup> /t		3~6 kg BOD <sub>7</sub> /t	1 000~2 000 g BOD <sub>7</sub> /m <sup>3</sup>	t = t 原料
土豆(湿法去皮)	4~8 m <sup>3</sup> /t		5~15 kg BOD <sub>7</sub> /t	2 000~3 000 g BOD <sub>7</sub> /m <sup>3</sup>	注意: 可漂浮
甜菜头	5~10 m <sup>3</sup> /t		20~40 kg BOD <sub>7</sub>	3 000~5 000 g BOD <sub>7</sub> /m <sup>3</sup>	
胡萝卜	5~10 m <sup>3</sup> /t		5~15 kg BOD <sub>7</sub> /t	800~1 500 g BOD <sub>7</sub> /m <sup>3</sup>	
豌豆	15~30 m <sup>3</sup> /t		15~30 kg BOD <sub>7</sub> /t	1 000~2 000 g BOD <sub>7</sub> /m <sup>3</sup>	
蔬菜(混合生产)	20~30 m <sup>3</sup> /tf				tf = t 加工产品
鱼	8~15 m <sup>3</sup> /t	4~8 m <sup>3</sup> /t	10~50 kg BOD <sub>7</sub> /t	5 000~10 000 g BOD <sub>7</sub> /m <sup>3</sup>	t = t 原料
纺织工业					
工业总体	100~250 m <sup>3</sup> /t	100~250 m <sup>3</sup> /t		100~1 000 g BOD <sub>7</sub> /m <sup>3</sup>	t = t 原料
棉		100~250 m <sup>3</sup> /t	50~100 kg BOD <sub>7</sub> /m <sup>3</sup>	200~600 g BOD <sub>7</sub> /m <sup>3</sup>	注意: 高水温与 pH,
羊毛		50~100 m <sup>3</sup> /t	70~120 kg BOD <sub>7</sub> /m <sup>3</sup>	500~1 500 g BOD <sub>7</sub> /m <sup>3</sup>	氯气, H <sub>2</sub> S 气, 危险化
合成纤维		100~250 m <sup>3</sup> /t	15~30 kg BOD <sub>7</sub> /m <sup>3</sup>	100~300 g BOD <sub>7</sub> /m <sup>3</sup>	学品(过敏性反应)
制革厂			30~100 kg BOD <sub>7</sub> /m <sup>3</sup>	1 000~2 000 g BOD <sub>7</sub> /m <sup>3</sup>	
混合生产	20~70 m <sup>3</sup> /t	20~70 m <sup>3</sup> /t	1~4 kg Cr/t	30~70 g Cr/m <sup>3</sup>	t = t 原料
皮革	20~40 m <sup>3</sup> /t	20~40 m <sup>3</sup> /t	0~100 kg S <sup>2</sup> /t	0~100 g S <sup>2</sup> /t	注意: 铬, pH 变化,
毛皮	60~80 m <sup>3</sup> /t	60~80 m <sup>3</sup> /t	10~20 kg TN/t	200~400 g TN/m <sup>3</sup>	污泥和毛状物
洗衣房					t = t 洗涤物
湿洗	20~60 m <sup>3</sup> /t	20~60 m <sup>3</sup> /t	20~40 kg BOD <sub>7</sub> /t 10~20 kg TP/t	300~800 kg BOD <sub>7</sub> /m <sup>3</sup> 10~50 g TP/m <sup>3</sup>	使用逆流洗涤的洗衣房 约降低 70% 的耗水量, 但同样有污染物排放 (kg BOD <sub>7</sub> /t) 注意: 高温
电镀工业	20~200 L/m <sup>2</sup>	20~200 L/m <sup>2</sup> < 1 m <sup>3</sup> /h* 最大 10 m <sup>3</sup> /h	3~30 g hm/m <sup>2</sup> 2~20 g CN/m <sup>2</sup>	在厂内处理前: 约 150 g hm/m <sup>2</sup> 约 100 g CN/m <sup>2</sup> 在厂内处理后: 1~10 g hm/m <sup>2</sup> 0.1~0.5 g CN/m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> = m <sup>2</sup> 表面积 hm = 重金属 *50% 的电镀工业排放 量小于 1 m <sup>3</sup> /h 注意: 溶剂, 氰化物, 高 pH 值, 重金属, 复 合清洗物
电子电路工业	0.5~1.5 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	0.5~1.5 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	100~200 g Cu/m <sup>2</sup> 0~5 g Sn/m <sup>2</sup> 0~5 g Pb/m <sup>2</sup>	100~200 g Cu/m <sup>3</sup> 0~5 g Sn/m <sup>3</sup> 0~5 g Pb/m <sup>3</sup>	m <sup>2</sup> = m <sup>2</sup> 绝缘板
图片洗印厂	0.5~1.5 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	0.5~1.5 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	200~400 g BOD <sub>7</sub> /m <sup>2</sup>	400~700 g BOD <sub>7</sub> /m <sup>3</sup> 50~100 g EDTA/m <sup>3</sup>	m <sup>2</sup> = m <sup>2</sup> 感光胶片 注意: 通过接触对皮肤 有危险, 过敏反应

续表 1.3

工业/产品	耗水量	单位产品(原料) 污水产量	单位产品 污染物产量	污染物浓度 (含量)	备注
印刷厂	30~40 m <sup>3</sup> /d	30~40 m <sup>3</sup> /d	约 7 kg Zn/d 约 0.04 kg Ag/d 约 0.03 kg Cr/d 约 0.01 kg Cd/d	170~230 g Zn/m <sup>3</sup> 1.0~1.3 g Ag/m <sup>3</sup> 0.8~1.0 g Cr/m <sup>3</sup> 0.2~0.3 g Cd/m <sup>3</sup>	损耗以生产中的调查 为准。该表所示为平 均一台印刷机每天耗 水 30~40 m <sup>3</sup> /d 注意: 溶剂, 酸
车辆修理/冲洗 轿车	约 400 L(Lt) 约 200 L(Ht)				注意: 溶剂 Lt = 低压冲洗 Ht = 高压冲洗
载重车	约 1 200 L(Ht)				

各种公共设施的污水量

表 1.4

类型	污水量 (m <sup>3</sup> /a)	单位	资料来源
学校	8~10	学生	[10], [2]
工作场所	15~20	雇员	[10], [2]
营地	25~30	每天每人	[2]
村舍, 别墅	40~60	别墅	
军事设施	50~60	永久居住者	[10]
	15~20	雇员	[10]
医院	150~250	床	[10], [2], [11]
疗养院、休养地	100~150	床	[10]
旅馆、宿舍	60~100	床	[10], [2]
饭店等	100~150	雇员	[10]
游泳浴场	50~60	每天每个游客	[10], [2]

**【例 1.4】** 计算一个平均 700 人的野营地, 在 5 月 15 日~10 月 1 日旺季期间的最大时流量。

从表 1.4 中查到  $Q_{yr,pers} = 25 \sim 30 \text{ m}^3/(\text{人} \cdot \text{a})$ , 取  $Q_{yr,pers}$  为  $30 \text{ m}^3/(\text{人} \cdot \text{a})$ :

$$Q_{yr} = NQ_{yr,pers} = 700 \text{ 人} \times 30 \text{ m}^3/(\text{人} \cdot \text{a}) = 21\,000 \text{ m}^3/\text{a}$$

日变系数  $t_{d,yr}$  等于野营地开放天数, 即 135 d:

$$Q_{d,av} = Q_{yr} / t_{d,yr} = 21\,000 \text{ m}^3/\text{a} / 135 \text{ d/a} = 156 \text{ m}^3/\text{d}$$

时变化系数  $t_{h,d}$  较高, 约为 6 h/d:

$$Q_{h,max} = Q_{d,av} / t_{h,d} = 156 \text{ m}^3/\text{d} / 6 \text{ h/d} = 26 \text{ m}^3/\text{h}$$

图 1.8 表示如何估算入渗水量, 一般来说, 入渗水量取决于污水系统的长度、总体状况和收集区域内的地下水位, 入渗水量通常按面积估算, 度量单位为  $\text{L}/(\text{s} \cdot \text{ha})$  (注: ha 为公顷,  $1 \text{ ha} = 1 \times 10^4 \text{ m}^2$ )。但也有些计算公式按单位长度污水管的入渗水量计算<sup>[13]</sup>。最简单但不太可靠的方法是设定入渗水量为污水总量的某个百分数 (例如 50%~100%)。

渗入水量也可能是负值 (即渗出量), 特别是在温暖而干燥的气候条件下, 渗出量

可达到排入污水管污水量的 50%。即使在丹麦，在污水管位于地下水位之上且维护不好的某些地方，渗出水量也相当可观。

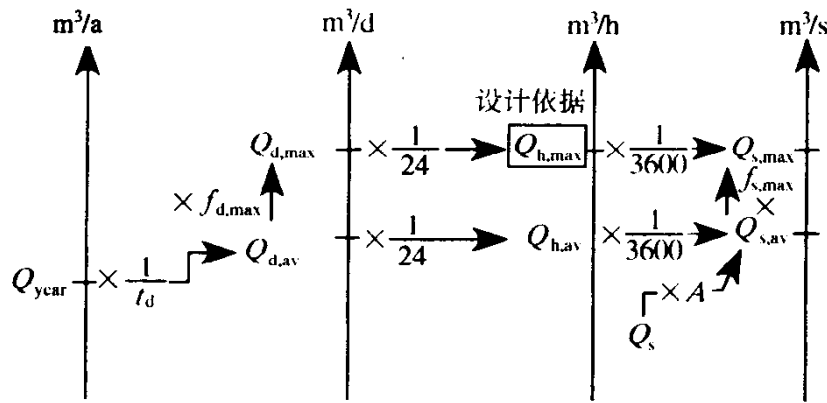


图 1.8 入渗水量的计算

入渗水量:

$$Q_{s,A} = 0.02 \sim 0.06 \text{ L/(s}\cdot\text{ha)}$$

$$t_{d,yr} = 200 \sim 365$$

$$f_{d,max} = 2 \sim 3$$

$$f_{s,max} = 0.1 \sim 0.2$$

$Q_{yr}$  —— 年入渗水量 ( $\text{m}^3/\text{a}$ ) ;

$Q_{d,av}$  —— 在入渗期内, 每天的平均入渗水量 ( $\text{m}^3/\text{d}$ ) ;

$Q_{d,av,max}$  —— 年内入渗水量最高月, 日平均入渗量 ( $\text{m}^3/\text{d}$ ) ;

$Q_{h,max}$  —— 年内入渗水量最高月, 时平均入渗水量 ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) ;

$Q_{s,A}$  —— 入渗期内每公顷每秒平均入渗水量 ( $\text{L}/(\text{s}\cdot\text{ha})$ ) ;

$Q_{s,av}$  —— 入渗期平均秒入渗水量 ( $\text{L}/\text{s}$ ) ;

$Q_{s,max}$  —— 年入渗最高月内, 平均秒入渗水量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) ;

$A$  —— 汇水面积 ( $\text{ha}$ ) ;

$t_{d,yr}$  —— 日变化系数 ( $\text{d}/\text{a}$ ) ;

$f_{d,max}$  —— 最高月的日变化系数;

$f_{s,max}$  —— 最高月的秒变化系数

**【例 1.5】** 计算收集区面积为 20 ha 的日最大渗入水量。

图 1.8 指出  $Q_{s,A} = 0.02 \sim 0.06 \text{ L}/(\text{s}\cdot\text{ha})$ , 取为  $Q_{s,A} = 0.05 \text{ L}/(\text{s}\cdot\text{ha})$

$$\begin{aligned} Q_{d,av} &= Q_{s,A} \times 3600 \text{ s/h} \times 24 \text{ t/d} \times A = 0.05 \text{ L}/(\text{s}\cdot\text{ha}) \times 3600 \text{ s/h} \times 24 \text{ t/d} \times 20 \text{ ha} \\ &= 80400 \text{ L/d} = 86.4 \text{ m}^3/\text{d} \end{aligned}$$

以图 1.8 为基准, 最大日变化系数  $f_{d,max}$  估算为 2.5:

$$Q_{d,max} = Q_{d,av} \times f_{d,max} = (86.4 \text{ m}^3/\text{d}) \times 2.5 = 216 \text{ m}^3/\text{d}$$

$Q_{s,max}$  值可直接用  $Q_{d,max}$  除以  $(24 \times 3600)$ , 因此:

$$Q_{s,max} = Q_{d,max} / (24 \times 3600) = (216 \text{ m}^3/\text{d}) / (24 \times 3600 \text{ s/d}) = 0.0025 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{s,max} = 2.5 \text{ L/s}$$

通过计算生活污水、工业污水和入渗水的最大时流量, 可得到  $Q_{h,max}$ , 该值可在以后的设计中采用。

$$Q_{h,max} = Q_{h,max}(\text{生活}) + Q_{h,max}(\text{工业}) + Q_{h,max}(\text{入渗}) \quad (1.1)$$

#### 1.1.4 人口当量

有时污水量采用单位人口当量 (PE) 计算, 对于水量来说,  $1 \text{ PE} = 0.2 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

单位人口当量 PE 与每人的真实污水量是无关的, 见例 1.6。人口当量还有其他方式

的定义 ( $PE_{BOD}$ 、 $PE_{SS}$ 、 $PE_N$  等), 因此, 当提及 PE 数值时, 应注意所采用的是何基准。1  $PE_{BOD}$  为 60 g BOD/d, 1 个 PE 也相当 125 g COD/d、13 g N/d 和 2.5 g P/d, 其值因国而异。

【例 1.6】一个 1000 人居住的集水区域, 耗水量为 150  $m^3/d$ , 到达处理厂的污水量为 250  $m^3/d$ 。在污水量基础上, 找出入渗水量和人口当量数。

入渗水量约等于污水量与耗水量之差:

$$Q (\text{入渗水量}) = 250 - 150 = 100 \text{ m}^3/d$$

人口当量为:

$$PE = Q (\text{污水量}) / 0.2 = (250 \text{ m}^3/d) / (0.2 \text{ m}^3 / (\text{PE} \cdot d)) = 1250 \text{ PE}$$

### 1.1.5 污水量的预测

当扩建和重建污水处理厂时, 需要预测未来 10~20 a 的污水量。在 50 年代和 60 年代, 世界上许多地方的单位污水量的增长比较稳定, 但从 70 年代开始出现了变化, 单位污水量或者不变 (家庭污水) 或是实际下降 (工业污水)。水和污水服务的收费使工业耗水量和污染物排放量明显降低 (许多地区按污染负荷付费), 污水管道系统的更新也促使污水量减少。

污水量的预测分析应以汇水区域的人口增长和工业生产增加为依据, 相关数值可在城镇发展规划中找到。

例 1.7 给出了丹麦 Nykøbing Falster 市的污水量计算和预测分析<sup>[14]</sup>。

【例 1.7】Nykøbing F (丹麦) 污水处理厂的污水量计算 (屠宰场为 FSA, 蔬菜罐头厂为 Samodan<sup>[14]</sup>)

类别	表注编号	北厂汇水			南厂汇水			
		1980	1987	2005	1980	1987	2005	
旱季年污水量								
家庭	百万 $m^3/a$	①	0.69	1.00	1.24	0.22	0.29	0.35
屠宰场	百万 $m^3/a$	②	0.2	0.37	0.37			
蔬菜罐头厂	百万 $m^3/a$	③	0.05	0.06	0.07			
其他工业	百万 $m^3/a$	④	0.55	0.79	1.02	0.11	0.25	0.39
入渗水量	百万 $m^3/a$	⑤	0.60	0.80	0.80	0.20	0.25	0.25
总计	百万 $m^3/a$		2.14	3.02	3.50	0.53	0.79	0.99
旱季平均污水量 (工作日)								
家庭	$m^3/d$	⑥	1 890	2 740	3 400	600	790	960
屠宰场	$m^3/d$	⑦	1 000	1 480	1 480			
蔬菜罐头厂	$m^3/d$	⑧	250	300	350			
其他工业	$m^3/d$	⑦	2 200	3 160	4 080	440	1 000	1 560
渗入水量	$m^3/d$	⑥	1 640	2 190	2 190	550	680	680
总计	$m^3/d$	⑨	6 980	9 870	11 500	1 590	2 470	3 200
旱季平均最大小时污水量 (工作日)								
家庭的	$m^3/h$	⑩	160	230	285	50	65	80
屠宰场	$m^3/h$	⑪	165	245	245			

类别	表注编号	北厂汇水			南厂汇水		
		1980	1987	2005	1980	1987	2005
蔬菜罐头厂	m <sup>3</sup> /h ①	40	50	60			
其他工业	m <sup>3</sup> /h ②	275	395	510	55	125	195
渗入水量	m <sup>3</sup> /h	70	90	90	25	30	30
总计	m <sup>3</sup> /h	710	1 010	1 190	130	220	305

- ① 设定的耗水量：1980年：55 m<sup>3</sup>/(人·a)，1987：65 m<sup>3</sup>/(人·a)和2005年80 m<sup>3</sup>/(人·a)；
- ② 根据1971~1976年的耗水量估算，屠宰场已计划扩大生产，每周屠宰生猪最多8 000头(1979年每周为4 800头)；
- ③ 根据1971~1976年的耗水量估算；
- ④ 与工业区相对应的总污水量(根据耗水量和大用户的减少量)被划分为南北厂收水区，新开发的工业区已计入(例如按5 000 m<sup>3</sup>/(ha·a))，假定现有工业的耗水量在规划区内没有变化；
- ⑤ 入渗水量按0.15 m<sup>3</sup>/a(约0.05 L/(s·ha))估计；
- ⑥ 耗水时间按365 d/a计；
- ⑦ 耗水时间按250 d/a计；
- ⑧ 耗水时间按200 d/a计；
- ⑨ 在1979年前半年，北厂的工作日旱季平均污水量测定值约为6 400 m<sup>3</sup>/d；
- ⑩ 平均日的时变系数为：2；
- ⑪ 平均日的时变系数为：4(根据1979年测定结果)。

## 1.2 污水水质组成

如表1.5所示，污水的组成成分可以分成几个主要的不同类别，下文中所说的不同种类污水的成分基于生活污水和不受主要工业污水影响的市政污水。

污水的组成成分<sup>[15]</sup>

表 1.5

成分	代表性物质	对环境的影响
微生物	病原菌、病菌和蛔虫卵	当洗浴和食用水生壳类动物时危险
可生物降解的有机物	河、湖、峡湾中的氧枯竭	
其他有机物	洗涤剂、农药、油脂、颜料、溶剂、酚、氰化物	毒性影响，感官不快，生物累积
营养物	氮、磷、氨	富营养化，氧枯竭，毒性影响
金属	Hg Pb Cd Cr Cu Ni	毒性影响，生物累积
其他无机物	酸如：H <sub>2</sub> S，碱	腐蚀，毒性
热效应	热水	改变植物群落和动物群体的生存条件
臭味(和味道)	H <sub>2</sub> S	毒性影响，感官不快
放射性	毒性影响，累积性	

### 1.2.1 生活污水和城市污水

每人每天或每年的污染负荷可作为评价污水成分的良好基础。表1.6为不同国家的数据，其中相当大的部分为估计值。生活污水和市政污水的成分明显因时因地而异，部分缘于所排放物质量的变化，但主要原因是耗水量、渗入水量和渗漏水量的变化，表1.7~表

1.9、表 1.12 给出了典型生活污水和市政污水的成分，高浓度污水代表低耗水量及低渗入水量的情况，低浓度污水代表高耗水量及高入渗水量的情况。污水中各种物质之间的比值影响着处理工艺的选择和功能，表 1.12 所示的为典型比值，COD/BOD 比值高表示有机物降解困难，COD/TN 比值高有利于脱氮，而 VSS/SS 比值高表示悬浮固体中有机物含量高。

与人有关的污染负荷<sup>[2][3][5][16][17][18]</sup>

表 1.6

污染物	单位	国 别									
		丹麦	巴西	埃及	印度	意大利	瑞典	土耳其	乌干达	美国	德国
BOD	kg/(人·a)	20~25	20~25	10~15	10~15	18~22	25~30	10~15	20~25	30~35	20~25
SS		30~35	20~25	15~25		20~30	30~35	15~25	15~20	30~35	30~35
TN		5~7	3~5	3~5		3~5	4~6	3~5	3~5	5~7	4~6
TP		1.5~2	0.6~1	0.4~0.6		0.6~1	0.8~1.2	0.4~0.6	0.4~0.6	1.5~2	1.2~1.6
洗涤剂		0.8~1.2	0.5~1	0.3~0.5		0.5~1	0.7~1.0	0.3~0.5		0.8~1.2	0.7~1.0
酚	g/(人·a)	10~20		3~10		3~10		3~10			
Hg		0.1~0.2		0.01~0.2		0.02~0.04	0.1~0.2	0.01~0.02			
Pb		5~10		5~10		5~10	5~10	5~10			
Cr		2~4		2~4		2~4	0.5~1.5	2~4			
Zn		15~30		15~30		15~30	10~20	15~30			
Cd		0.2~0.4					0.5~0.7				
Ni		2~4					0.5~1.0				

一般可以认为： $COD = (2 \sim 2.5) \times BOD$ ， $VSS = (0.7 \sim 0.8) \times SS$ ， $NH_3-N = (0.6 \sim 0.7) \times \text{总氮}$

生活污水中营养物的典型含量<sup>[17][25][26]</sup>

表 1.7

分析参数	符号	单位 <sup>③</sup>	污水类型			
			高浓度	中等浓度	低浓度	超低浓度
总氮	$C_{TN}$	g N/m <sup>3</sup>	80	50	30	20
铵氮 NH <sub>4</sub> -N <sup>①</sup>	$C_{NH_4}$	g N/m <sup>3</sup>	50	30	18	12
NO <sub>2</sub> -N	$S_{NO_2}$	g N/m <sup>3</sup>	0.1	0.1	0.1	0.1
NO <sub>3</sub> -N	$S_{NO_3}$	g N/m <sup>3</sup>	0.5	0.5	0.5	0.5
有机氮	$C_{org-N}$	g N/m <sup>3</sup>	30	20	12	8
凯氏氮 KTN <sup>②</sup>	$C_{TKN}$	g N/m <sup>3</sup>	80	50	30	20
总磷	$C_{TP}$	g P/m <sup>3</sup>	23 (14) <sup>④</sup>	16 (10)	10 (6)	6 (4)
正磷酸盐	$S_{PO_4}$	g P/m <sup>3</sup>	14 (10)	10 (7)	6 (4)	4 (3)
聚磷酸盐	$S_{p-P}$	g P/m <sup>3</sup>	5 (0)	3 (0)	2 (0)	1 (0)
有机磷酸盐	$C_{org-P}$	g P/m <sup>3</sup>	4 (4)	3 (3)	2 (2)	1 (1)

①  $NH_3+NH_4^+$ ；②  $org-N + NH_3 + NH_4^+$ ；③  $g/m^3 = mg/L = ppm$ ；④ 括号中数值为使用无磷洗涤剂汇水区的数值。



生活污水中有机物的典型平均含量 [17] [25] [26]

表 1.8

分析参数	符号	单位 <sup>①</sup>	污水类型			
			高浓度	中等浓度	低浓度	超低浓度
生化需氧量, BOD						
最终	$C_{BOD}$	$g O_2/m^3$	530	380	230	150
7d	$C_{BOD7}$	$g O_2/m^3$	400	290	170	115
5d	$C_{BOD}$	$g O_2/m^3$	350	250	150	100
可溶性的	$S_{BOD}$	$g O_2/m^3$	140	100	60	40
可溶性非常容易降解的	$S_{BOD}$	$g O_2/m^3$	70	50	30	20
沉淀 2 h 后	$S_{BOD} (2h)$	$g O_2/m^3$	250	175	110	70
重铬酸钾法化学需氧量, COD						
总的	$S_{COD}$	$g O_2/m^3$	740	530	320	210
可溶性的	$S_{COD}$	$g O_2/m^3$	300	210	130	80
悬浮的	$X_{COD}$	$g O_2/m^3$	440	320	190	130
沉淀 2 h 后	$C_{COD} (2h)$	$g O_2/m^3$	530	370	230	150
惰性的, 总的	$C_1$	$g O/m^3$	180	130	80	50
可溶性	$S_1$	$g O_2/m^3$	30	20	15	10
悬浮的	$X_1$	$g O_2/m^3$	150	110	65	40
可降解的, 总的		$g O_2/m^3$	560	400	240	160
非常容易降解的	$X_{HAXCOD}$	$g O_2/m^3$	90	60	40	25
容易降解的	$S_{SCOD}$	$g O_2/m^3$	180	130	75	50
可慢速降解的	$X_{COD}$	$g O^2/m_3$	290	210	125	85
异养菌	$X_H$	$g O_2/m^3$	120	90	55	35
反硝化菌	$X_{H,D}$	$g O_2/m^3$	80	60	40	25
自养菌	$X_A$	$g O_2/m^3$	1	1	0.5	0.5
高锰酸钾法化学需氧量, $COD_P$						
总的	$C_{CODP}$	$g O_2/m^3$	210	150	90	60
总有机碳	$C_{TOC}$	$g C/m^3$	250	180	110	70
碳水化合物		$g C/m^3$	340	24	15	10
蛋白质		$g C/m^3$	25	18	11	7
脂肪酸		$g C/m^3$	65	45	25	18
脂肪		$g C/m^3$	25	18	11	7
油脂		$g/m^3$	100	70	40	30
酚		$g/m^3$	0.1	0.07	0.05	0.02
酚酞酸盐 Phthalates, DEHP		$g/m^3$	0.3	0.2	0.15	0.07
邻基苯二甲酸 Phthalates, DOP		$g/m^3$	0.6	0.4	0.3	0.15
壬基苯酚, NPE		$g/m^3$	0.08	0.05	0.03	0.01
阴离子洗涤剂 <sup>②</sup>		$g LAS/m^3$	15	10	6	4

①  $g/m^3 = mg/L = ppm$ ; ② LAS = 十二烷基磺酸盐。