

# 污水处理厂 工艺设计手册

第二版

王社平 高俊发 主编

CHULI CHANG  
GONGYI SHEJI  
SHOUCE



化学工业出版社

# 污水处理厂 工艺设计手册

第二版

王社平 高俊发 主编

W U S H U I

S H O U C E



化学工业出版社  
· 北京 ·

500.24 151

本书主要内容是城市(镇)污水处理厂工艺设计与计算。全书共8章,主要介绍了污水处理厂工艺设计时处理水量的计算、污水水质指标及设计进水水质的确定、物理处理单元工艺设计计算、生物处理单元工艺设计计算、污水处理厂物料平衡计算、污水处理厂总平面布置与高程水力计算、消毒设施工艺设计计算、污水处理厂的技术经济分析等内容,同时又附录了大量与污水厂设计有关的资料,各章内容既有基本理论和原理,又有大量的例题和计算实例,具有较强的综合性、系统性和实用性。

本书可供从事给水排水工程和环境工程专业的设计人员、科研人员以及管理人员参考,也可供高等学校相关专业师生参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

污水处理厂工艺设计手册/王社平,高俊发主编. —2版. —北京:化学工业出版社,2011  
ISBN 978-7-122-11052-7

I. 污… II. ①王…②高… III. 污水处理厂-  
工艺设计-手册 IV. X505-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第068836号

---

责任编辑:刘兴春 陈丽  
责任校对:周梦华

装帧设计:杨北

---

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印装:北京白帆印务有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张29¼ 字数744千字 2011年9月北京第2版第1次印刷

---

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

---

定 价: 98.00 元

版权所有 违者必究

## 第二版 前 言

“十一五”期间，我国不断加大对城镇污水处理设施建设的投资力度，积极引入市场机制，城镇污水处理事业进入发展快车道。截至2010年年底，全国城市、县及部分重点建制镇累计建成城镇污水处理厂2832座，总处理能力达到1.25亿立方米/天，分别是“十五”末的3倍和2倍。目前我国正在建设的城镇污水处理项目1929个，可新增污水处理能力约4900万立方米/天。我国在建和已建项目处理能力总和预计可达1.6亿立方米，基本与美国的处理能力相当，将成为全世界污水处理能力最大的国家之一。“十二五”期间，我国污水处理将扩大到乡镇和农村，污水处理事业发展前景宽广。

正是在此背景下，作者对2003年出版的《污水处理厂工艺设计手册》进行了修订和增补。增补内容如下：第2章中“2.3.2某市B污水处理厂进水水质预测与确定”重新编写；第4章中增加了“4.10.10.6奥贝尔氧化沟工艺计算实例”、“4.10.11OCO工艺”、“4.10.12分点进水倒置A<sup>2</sup>/O工艺”和“4.10.13分段进水A/O脱氮工艺”；增加了第7章“消毒设施工艺设计计算”；原第7章改为第8章，并增加了“主要处理单元构筑物造价估算模型”；附录中增加了附录16“排水工程设计文件编制深度规定”。同时，对参考文献进行了补充。

全书从污水处理厂设计水质与水量确定、常规污水处理工艺的基本原理、工艺特点、设计参数、设计计算方法出发，结合污水厂实际设计经验，通过大量的计算实例具体介绍，以使读者按照例题就可进行工艺设计计算。本书可供从事给水排水工程和环境工程等领域的设计人员、科研人员以及相关管理人员使用，也可作为高等学校相关专业师生的教材或参考书。

全书共8章，此次再版，由王社平、高俊发主编，其中第1、第3、第5章由高俊发、张宝星编写，第2章由王社平、高俊发和朱海荣编写，第4章由高俊发、王社平和黄宁俊编写，第6章由王社平编写，第7章由王社平、高荣宁编写，第8章由马七一、王社平编写，附录由朱海荣、黄宁俊编写整理，并参加了部分章节插图绘制工作。在本书再版的编写和校对过程中，还得到西安市政设计研究院有限公司张日霞、关江两位同志的帮助，在此表示衷心的感谢！

在本书的编写过程中，参考和选用了国内外学者或工程师的著作和资料，在此谨向他们表示衷心的感谢。限于作者水平和编写时间，书中难免存在不妥和疏漏之处，敬请读者批评指正。

编者

2011年4月

## 第一版 前 言

按照建设部、科技部、国家环境保护总局对城市污水处理及污染防治技术政策的规定与要求，到2010年全国设市城市和建制镇的污水平均处理率不低于50%，设市城市的污水处理率不低于60%，重点城市的污水处理率不低于70%。由此可见，今后几年是污水处理事业大发展的黄金时期，污水处理工程的设计、施工及调试运行任务相当大。因此，迫切需要一部综合、系统和实用的污水处理工艺设计计算工具指南书。本书就是基于这一原则，从处理水量的推求与确定，处理水质的预测与确定，物理处理单元工艺设计计算，生物处理单元工艺设计计算，处理厂物料平衡计算，处理厂平面布置与高程计算以及处理厂的技术经济分析等方面对基本理论、基本原理、工艺设计计算进行了介绍。本书最大特点是通过计算例题的形式，对污水处理单元工艺设计参数的规定、计算公式、方法、内容和步骤进行了详细深入地阐述。

全书由长安大学高俊发、西安市市政设计研究院王社平主编，其中高俊发撰写本书的第1~5章，王社平撰写第6章，马七一撰写第7章，附录由朱海荣、黄宁俊编写、整理，并参加了部分章节插图绘制工作。

本书可供从事给水排水工程、市政工程、环境工程、环境科学、化学工程等专业的工程技术人员、科研人员以及有关管理人员使用，也可作为高等院校本科生、研究生的教材或参考书。

在本书编写中，参考和选用了一些单位和个人的著作和资料，在此谨向他们表示衷心的感谢。由于作者水平有限，书中不妥或错误之处敬请批评指正。

编者

2003.5

# 目 录

<b>1 设计污水量计算</b> .....	1
1.1 设计人口数的确定 .....	1
1.1.1 等差数列推算法 .....	1
1.1.2 等比数列推算法 .....	1
1.1.3 幂函数推算法 .....	2
1.1.4 罗基斯蒂曲线(S形曲线)推算法 .....	2
1.2 污水设计流量的确定 .....	6
1.2.1 污水流量调查及统计分析 .....	6
1.2.2 污水设计流量的确定 .....	9
1.2.3 日本《下水道设施计划·设计指针与解说》推荐方法 .....	18
1.2.4 某市A污水厂处理量预测(近期1995年,远期2000年)过程与解析 .....	26
1.2.5 某市B污水厂处理量预测(近期2005年,远期2020年)过程与解析 .....	34
<b>2 污水水质指标及设计污水水质的确定</b> .....	39
2.1 污水水质指标 .....	39
2.2 设计污染负荷量与设计原水水质的确定 .....	45
2.2.1 设计污染负荷量 .....	46
2.2.2 设计原水水质确定算例 .....	50
2.3 污水水质确定实例 .....	52
2.3.1 某市A污水处理厂进水水质预测与确定 .....	52
2.3.2 某市B污水处理厂进水水质预测与确定 .....	53
2.4 污水的排放标准 .....	71
2.5 污水处理程度的确定 .....	72
2.5.1 根据允许排放的悬浮物浓度计算 .....	73
2.5.2 根据允许排放的BOD <sub>5</sub> 浓度计算 .....	73
2.5.3 污水处理程度计算实例 .....	74
2.6 污水处理基本方法及处理厂处理效率 .....	78
2.6.1 污水处理方法分类 .....	78
2.6.2 污泥处理方法分类 .....	79
2.6.3 污水处理流程组合原则 .....	79
2.6.4 城市污水处理厂的处理效率 .....	79
2.7 污水处理方式的确定 .....	80
2.7.1 影响处理方式的因素 .....	80
2.7.2 污水处理方式的选定 .....	80
2.7.3 污水处理工艺比较实例 .....	80

2.7.4	污泥处理方案技术经济比较实例	85
<b>3</b>	<b>物理处理单元工艺设计计算</b>	<b>86</b>
3.1	格    栅	86
3.1.1	设计参数及其规定	86
3.1.2	格栅的计算公式	86
3.2	沉    砂    池	88
3.2.1	沉砂池设计计算一般规定	89
3.2.2	平流式沉砂池	89
3.2.3	竖流式沉砂池	94
3.2.4	曝气沉砂池	95
3.2.5	旋流沉砂池	97
3.2.6	多尔沉砂池	98
3.2.7	钟式沉砂池	99
3.3	沉    淀    池	100
3.3.1	一般规定	102
3.3.2	平流式沉淀池	103
3.3.3	平流式沉淀池穿孔排泥管的计算	108
3.3.4	竖流式沉淀池	114
3.3.5	辐流式沉淀池	116
3.3.6	斜流式沉淀池	122
3.3.7	污泥浓缩与方法	125
3.3.8	二次沉淀池工艺设计计算	135
<b>4</b>	<b>生物处理单元工艺设计计算</b>	<b>150</b>
4.1	普通活性污泥法	150
4.1.1	工艺流程	150
4.1.2	运行方式、设计参数及规定	150
4.1.3	污泥龄 ( $\theta_c$ )、水温与出水 BOD 浓度 ( $S_e$ ) 的相关关系式	150
4.1.4	计算公式	151
4.1.5	设计计算例	151
4.2	阶段曝气活性污泥法	158
4.2.1	工艺流程	158
4.2.2	设计反应器模型及假设条件	158
4.2.3	阶段法计算公式	159
4.3	生物吸附 (吸附再生或接触稳定) 法	163
4.3.1	工艺流程	163
4.3.2	设计参数及规定	163
4.3.3	计算公式	164
4.4	完全混合活性污泥法	165
4.4.1	工艺流程及特点	165

4.4.2	设计参数及规定	166
4.4.3	计算公式	166
4.5	缺氧(厌氧)/好氧活性污泥生物脱氮工艺(A <sub>1</sub> /O工艺)	168
4.5.1	绝氧、厌氧、缺氧及好氧定义	168
4.5.2	生物脱氮原理	168
4.5.3	A <sub>1</sub> /O工艺流程	169
4.5.4	结构特点	169
4.5.5	设计参数	170
4.5.6	计算方法及公式	170
4.6	厌氧(绝氧)/好氧活性污泥生物除磷工艺(A <sub>2</sub> /O工艺)	178
4.6.1	污水中磷的存在形式及含量	178
4.6.2	A <sub>2</sub> /O工艺流程	178
4.6.3	生物除磷原理	178
4.6.4	结构特点	178
4.6.5	设计参数及规定	179
4.6.6	计算方法与公式	179
4.7	生物法脱氮除磷工艺	183
4.7.1	生物脱氮除磷原理	183
4.7.2	脱氮除磷基本工艺流程	183
4.7.3	生物脱氮除磷工艺的比较	186
4.7.4	工艺参数及规定	186
4.7.5	A <sup>2</sup> /O工艺设计参数及过程	187
4.7.6	设备与装置	188
4.7.7	脱氮除磷技术应用实例	188
4.8	AB法工艺	195
4.8.1	AB法处理原理	195
4.8.2	AB法工艺流程	196
4.8.3	构造特点	196
4.8.4	AB工艺设计参数	196
4.8.5	计算公式	197
4.8.6	设计实例简介	199
4.9	SBR及其改良间歇式活性污泥法工艺	201
4.9.1	处理原理及工艺特征	201
4.9.2	工艺流程	202
4.9.3	构造特点	202
4.9.4	设计概要及设计参数	203
4.9.5	设计计算方法、公式及实例	203
4.9.6	改良SBR工艺简介与比较	224
4.9.7	生物选择器	228



4.9.8	ICEAS 出水水质及设计实例简介	230
4.9.9	CASS 工艺设计	230
4.10	氧化沟 (OD) 工艺	236
4.10.1	工艺流程、工艺特点及类型	236
4.10.2	氧化沟设备和装置	242
4.10.3	氧化沟设计要点	246
4.10.4	设计参数及规定	248
4.10.5	计算公式	248
4.10.6	单沟式氧化沟设计算例	249
4.10.7	DE 型氧化沟设计算例	251
4.10.8	三沟式 (T 形) 氧化沟的设计	252
4.10.9	卡鲁塞尔 (Carrousel) 式氧化沟的设计与计算	257
4.10.10	奥贝尔 (Orbal) 氧化沟	268
4.10.11	OCO 工艺	276
4.10.12	分点进水倒置 A <sup>2</sup> /O 工艺	281
4.10.13	分段进水 A/O 脱氮工艺	285
<b>5</b>	<b>处理厂物料平衡计算</b>	<b>289</b>
5.1	污泥量计算	289
5.1.1	初沉池污泥量	289
5.1.2	二沉池污泥量	289
5.1.3	日本指针推荐方法	290
5.2	物料平衡算例	293
5.3	物料平衡计算实例	297
<b>6</b>	<b>污水处理厂的总体布置与高程水力计算</b>	<b>301</b>
6.1	污水处理厂的平面布置	301
6.1.1	污水厂平面布置原则	301
6.1.2	污水厂的平面布置	301
6.2	污水厂的高程布置	304
6.2.1	污水厂高程布置原则	305
6.2.2	高程布置时的注意事项	306
6.3	污水厂高程流程中水力计算	306
6.3.1	污水高程水力计算	306
6.3.2	污泥处理流程高程计算	316
6.4	污水厂高程布置设计实例	319
6.4.1	实例 1 某城市污水处理高程水力计算	319
6.4.2	日本某城市污水处理厂污水系统高程水力计算	334
<b>7</b>	<b>消毒设施工艺设计计算</b>	<b>351</b>
7.1	液氯消毒	351
7.1.1	液氯消毒原理与工艺流程	351

7.1.2	设计参数及规定 .....	352
7.1.3	平流式接触消毒池设计 .....	352
7.1.4	液氯消毒设计算例 .....	353
7.2	二氧化氯消毒 .....	355
7.2.1	二氧化氯消毒原理与工艺流程 .....	355
7.2.2	设计参数及规定 .....	355
7.2.3	二氧化氯消毒设计算例 .....	356
7.3	紫外线消毒 .....	358
7.3.1	紫外线消毒原理与工艺流程 .....	358
7.3.2	紫外线消毒系统 .....	358
7.3.3	设计参数及规定 .....	359
7.3.4	紫外线消毒设计算例 .....	360
<b>8</b>	<b>污水处理厂的技术经济分析 .....</b>	<b>361</b>
8.1	工程投资估算的编制 .....	361
8.1.1	投资估算编制的基本要求 .....	361
8.1.2	投资估算文件的组成 .....	361
8.1.3	投资估算的编制办法 .....	362
8.2	工程概、预算的编制 .....	367
8.2.1	概、预算编制依据及主要基础资料 .....	367
8.2.2	一般资料调查收集内容 .....	367
8.2.3	概、预算文件的组成 .....	368
8.3	污水处理成本的计算 .....	368
8.3.1	能源消耗费 .....	368
8.3.2	其他费用 .....	368
8.3.3	日常检修维护费 .....	368
8.3.4	污水、污泥综合利用的收入 .....	368
8.3.5	年成本费用与单位处理成本的计算 .....	368
8.4	污水处理厂项目经济评价 .....	369
8.4.1	财务评价 .....	369
8.4.2	不确定性分析与风险评价 .....	370
8.4.3	国民经济评价 .....	371
<b>附录 1</b>	<b>城镇污水处理厂污染物排放标准 (GB 18918—2002) .....</b>	<b>373</b>
<b>附录 2</b>	<b>城镇污水处理厂附属建筑和附属设备设计标准 (GJ 31—89) .....</b>	<b>381</b>
<b>附录 3</b>	<b>污水排入城市下水道水质标准 (CJ 3082—99) .....</b>	<b>391</b>
<b>附录 4</b>	<b>QW 系列潜水排污泵设备 .....</b>	<b>395</b>
<b>附录 5</b>	<b>拦污设备 .....</b>	<b>407</b>
<b>附录 6</b>	<b>潜水搅拌推流设备 .....</b>	<b>412</b>
<b>附录 7</b>	<b>曝气设备 .....</b>	<b>416</b>
<b>附录 8</b>	<b>滲水设备 .....</b>	<b>423</b>

附录 9 除砂设备 .....	425
附录 10 排泥设备 .....	429
附录 11 NYTJ 型浓缩压榨一体化污泥脱水机 .....	435
附录 12 污水处理专用离心鼓风机系列 .....	437
附录 13 空气管沿程阻力损失值 .....	438
附录 14 城市污水处理及污染防治技术政策 .....	441
附录 15 城市污水处理工程项目建设标准 .....	444
附录 16 排水工程设计文件编制深度规定 .....	455
参考文献 .....	465

# 1 设计污水量计算

## 1.1 设计人口数的确定

设计人口数的确定是计算设计污水量的基础，因此，必须在排水区域内按设计年限推求常住人口数。预测将来人口数有若干种方法，不同方法有不同的应用条件。

### 1.1.1 等差数列推算法

人口数的增加，可用等差数列计算。这种方法在多数情况下推算值可能偏低，其适用于人口增加较小的城市，或者发展缓慢的城市以及发达的较大的城市。

$$P_n = P_0 + na \quad (1-1)$$

$$a = \frac{P_0 - P_t}{t} \quad (1-2)$$

式中  $P_n$ —— $n$ 年后的人口数，人；

$P_0$ ——现在的人口数，人；

$n$ ——现在开始到设计年限的年数，年；

$a$ ——每年的增加人数，人/年；

$P_t$ ——现在开始到  $t$ 年前的人口数，人。

上述是采用 2 个数据推算未来人口数。当统计人口资料较多时，可以采用最小二乘法求定，即

$$y = ax + b \quad (1-3)$$

$$a = \frac{N \sum xy - \sum x \sum y}{N \sum x^2 - \sum x \sum x} \quad (1-4)$$

$$b = \frac{\sum x^2 \sum y - \sum x \sum xy}{N \sum x^2 - \sum x \sum x} \quad (1-5)$$

式中  $x$ ——从基准年开始经过的年数；

$y$ ——人口；

$a$ 、 $b$ ——常数；

$N$ ——人口资料数。

### 1.1.2 等比数列推算法

该方法适用于在一定时期内人口增长率持续不变的发展中的城市。多数情况下，该方法推算值可能偏大。

等比数列推算法可用下式表达：

$$P_n = P_0 (1+r)^n \quad (1-6)$$

$$r = \left( \frac{P_0}{P_t} \right)^{\frac{1}{t}} - 1 \quad (1-7)$$

式中  $r$ ——每年人口增加比率。

对式(1-6) 两边取常用对数, 则变为:

$$\lg P_n = n \lg(1+r) + \lg P_0 \quad (1-8)$$

令  $\lg P_n = y$ ,  $\lg(1+r) = a$ ,  $n = x$ ,  $\lg P_0 = b$ , 则式(1-8) 变为:  $y = ax + b$ ; 该形式与式(1-3) 相同, 当统计数据较多时, 可采用最小二乘法求定常数项  $a$  和  $b$ , 进而预测未来人口数。

### 1.1.3 幂函数推算法

人口变化可用幂函数表达, 即符合式(1-9)。该法适用于大多数城市。

$$P_n = P_0 + An^a \quad (1-9)$$

式中  $A$ 、 $a$ ——常数。

式(1-9) 可变形为:  $\lg(P_n - P_0) = a \lg n + \lg A$

令  $\lg(P_n - P_0) = y$ ,  $\lg n = x$ ,  $\lg A = b$ , 则上式变为:  $y = ax + b$ ; 该形式与式(1-3) 相同, 可采用最小二乘法推算未来人口数。

### 1.1.4 罗基斯蒂曲线 (S形曲线) 推算法

这种曲线变化规律是许多年前人口数为 0, 随着时间逐渐增加, 中间期增加最大; 随着增加率减小, 许多年后趋向饱和平稳。罗基斯蒂曲线方法是合理的人口数推算法, 也是应用最多的方法。其数学表达式如下:

$$y = \frac{k}{1 + e^{a-bx}} \quad (1-10)$$

式中  $k$ ——饱和人口;

$a$ 、 $b$ ——由人口资料计算出的常数;

$e$ ——自然对数的底 ( $e = 2.7182$ )。

#### 1.1.4.1 最小二乘法计算 ( $k$ 已知, $a$ 、 $b$ 未知时)

将式(1-10) 变形为:  $bx \lg e - a \lg e = \lg y - \lg(k - y)$

并令:  $x \lg e = X$ ,  $a \lg e = C$ ,  $\lg y - \lg(k - y) = Y$ , 则上式变为:

$Y = bX - C$ , 采用最小二乘法解之, 即

$$a = \frac{C}{\lg e} = \frac{1}{\lg e} \times \frac{\sum X \sum XY - \sum X^2 \sum Y}{N \sum X^2 - \sum X \sum Y}$$

$$b = \frac{N \sum XY - \sum X \sum Y}{N \sum X^2 - \sum X \sum Y}$$

#### 1.1.4.2 二点法计算 ( $k$ 、 $a$ 、 $b$ 未知时)

已知过去的实际人口数 (年数为等间隔) 为  $y_{(0)}$ 、 $y_{(1)}$ 、 $y_{(2)}$ , 且满足  $0 < y_{(0)} < y_{(1)} < y_{(2)}$  和  $y_{(1)}^2 > y_{(0)} y_{(2)}$  时, 可采用如下解法:

$$\text{令} \quad d_1 = \frac{1}{y_{(0)}} - \frac{1}{y_{(1)}}, \quad d_2 = \frac{1}{y_{(1)}} - \frac{1}{y_{(2)}}$$

$$\text{则} \quad k = \frac{y_{(0)}(d_1 - d_2)}{d_1(1 - d_1 y_{(0)}) - d_2}, \quad a = \frac{1}{\lg e} \lg \frac{k d_1^2}{d_1 - d_2}$$

$$b = \frac{\lg d_1 - \lg d_2}{\lg e}$$

**【例题 1.1】** 1999~2003 年人口统计结果见表 1-1, 用等差数列法推算 2012 年人口数。

**【解】**

(1) 采用 1999 年和 2003 年两年数据, 在式(1-1) 中有  $P_0 = 24272$ ,  $P_t = 20483$ ,  $t = 4$ ,  $n = 9$ , 则

$$a = \frac{24272 - 20483}{4} = 947$$

表 1-1 1999~2003 年人口统计结果表

年 度	人 口 数	年 度	人 口 数
1999	20483	2002	23566
2000	22317	2003	24272
2001	22891		

将上述数据代入式(1-1) 中, 得 2012 年人口数  $P_n$  为:

$$P_n = 24272 + 9 \times 947 = 32795 \text{ (人)}$$

(2) 采用最小二乘法, 将表 1-1 制作成表 1-2。

表 1-2 人口统计结果表

年度	人口 $y$	$x$	$x^2$	$xy$	备 注
1999	20483	-2	4	-40966	采用最小二乘法, 基准年选择合适时, $\sum x = 0$ , 使计算变得简单
2000	22317	-1	1	-22317	
2001	22891	0	0	0	
2002	23566	1	1	23566	
2003	24272	2	4	48544	
合计	113529	0	10	8827	

由此知,  $N = 5$ ,  $\sum x = 0$ ,  $\sum x^2 = 10$ ,  $\sum xy = 8827$ , 代入式(1-4) 和式(1-5), 得:

$$a = \frac{5 \times 8827}{5 \times 10} = 883$$

$$b = \frac{10 \times 113529}{5 \times 10} = 22706$$

则有:

$$y = 883x + 22706$$

从 2001 年到 2012 年共有 13 年, 即  $x = 11$ , 则 2012 年推算人口数为:

$$y = 883 \times 11 + 22706 = 32419 \text{ (人)}$$

**【例题 1.2】** 将例题 1.1 用等比数列法推算 2012 年人口数。

**【解】**

(1) 采用 1999 年和 2003 年两年数据推算, 由式(1-7) 得:

$$r = \left( \frac{24272}{20483} \right)^{\frac{1}{4}} - 1 = 0.043$$

则

$$P_n = 24272 \times (1 + 0.043)^9 = 35454 \text{ (人)}$$

(2) 采用最小二乘法, 由表 1-1 计算列表 1-3。

表 1-3 人口统计结果表

年度	人口 $P_n$	$y = \lg P_n$	$x$	$x^2$	$xy$
1999	20483	4.311	-2	4	-8.623
2000	22317	4.349	-1	1	-4.349

续表

年度	人口 $P_n$	$y = \lg P_n$	$x$	$x^2$	$xy$
2001	22891	4.360	0	0	0
2002	23566	4.372	1	1	4.372
2003	24272	4.385	2	4	8.770
合计		21.777	0	10	0.170

$$a = \lg(1+r) = \frac{5 \times 0.170}{5 \times 10} = 0.017 \quad \text{则} \quad 1+r = 1.040$$

$$b = \lg P_0' = \frac{10 \times 21.777}{5 \times 10} = 4.355 \quad \text{则} \quad P_0' = 22646$$

$P_0'$ 是以2001年为标准的计算人口数,因此,2012年的人口数( $n=11$ )为:

$$P_n = 22646 \times (1.040)^{11} = 34862 \text{ (人)}$$

**【例题 1.3】** 将例题 1.1 用幂函数法推算 2012 年人口数。

**【解】**

按最小二乘法要求,计算列表 1-4。

表 1-4 人口统计结果表

年度	$n$	$x = \lg n$	$x^2$	$P_n$	$P_n - P_0$	$y = \lg(P_n - P_0)$	$xy$
1999	0			20483	0		
2000	1	0	0	22317	1834	3.26340	0
2001	2	0.30103	0.09062	22891	2408	3.38166	1.01798
2002	3	0.47712	0.22764	23566	3083	3.48897	1.66466
2003	4	0.60206	0.36248	24272	3789	3.57852	2.15448
合计		1.38021	0.68074			13.71255	4.83712

$$a = \frac{4 \times 4.83712 - 1.38021 \times 13.71255}{4 \times 0.68074 - (1.38021)^2} = 0.516$$

$$\lg A = b = \frac{0.68074 \times 13.71255 - 1.38021 \times 4.83712}{4 \times 0.68074 - (1.38021)^2} = 3.250$$

则  $A = 1778$

从 1999 年到 2012 年共 13 年,即  $n=13$ ,则

$$P_n = 20483 + 1778 \times 13^{0.516} = 27162 \text{ (人)}$$

**【例题 1.4】** A 市从 1980 年到 1988 年人口统计数据见表 1-5 所示,试用直线方程和罗基斯蒂曲线(饱和人口  $k=400000$  人)推算 2003 年、2008 年、2013 年人口数。

表 1-5 A 市人口统计表

年 度	人 口 数	年 度	人 口 数
1980	139279	1985	167024
1981	143710	1986	179054
1982	147789	1987	188836
1983	151713	1988	194816
1984	161205		

**【解】**

## (1) 直线方程

按最小二乘法整理数据，为计算简单，取中间的 1984 年为基准年。另外， $y$  为从基准年开始  $x$  年后的人口数， $x$  为基准年开始所经过的年数， $N$  为人口资料数（本例为  $N=9$ ），数据统计结果见表 1-6。

表 1-6 统计计算表

年度	人口 $y$	$x$	$x^2$	$xy$
1980	139279	-4	16	-557116
1981	143710	-3	9	-431130
1982	147789	-2	4	-295578
1983	151713	-1	1	-151713
1984	161205	0	0	0
1985	167024	1	1	167024
1986	179054	2	4	358108
1987	188836	3	9	566508
1988	194816	4	16	779264
合计	1473426	0	60	435367

$$a = \frac{N \sum xy - \sum x \sum y}{N \sum x^2 - (\sum x)^2} = \frac{9 \times 435367 - 0}{9 \times 60 - 0} = 7256.1$$

$$b = \frac{\sum x^2 \sum y - \sum x \sum xy}{N \sum x^2 - (\sum x)^2} = \frac{60 \times 1473426 - 0}{9 \times 60 - 0} = 163714$$

则回归直线方程为：

$$y = ax + b = 7256.1x + 163714$$

2003 年 ( $x=19$ ) 推算人口数为：

$$y_{03} = 7256.1 \times 19 + 163714 = 301580 \text{ (人)}$$

2008 年 ( $x=24$ ) 推算人口数为：

$$y_{08} = 7256.1 \times 24 + 163714 = 337860 \text{ (人)}$$

2013 年 ( $x=29$ ) 推算人口数为：

$$y_{13} = 7256.1 \times 29 + 163714 = 374141 \text{ (人)}$$

## (2) 罗基斯蒂曲线

按最小二乘法 ( $k$  已知， $a$ 、 $b$  未知) 整理数据，统计计算结果见表 1-7。

表 1-7 统计计算表

年度	$Y$	$X$	$x = X \lg e$	$x^2$	$y = -\lg(k - Y) + \lg Y$	$xy$
1980	139279	0	0	0	-0.27	0
1981	143710	1	0.4343	0.1886	-0.2512	-0.1183
1982	147789	2	0.8686	0.7545	-0.2321	-0.2016
1983	151713	3	1.3029	1.6975	-0.2139	-0.2787
1984	161205	4	1.7372	3.0179	-0.1706	-0.2964



续表

年度	Y	X	$x = X \lg e$	$x^2$	$y = -\lg(k-Y) + \lg Y$	$xy$
1985	167024	5	2.1715	4.7154	-0.1445	-0.3138
1986	179054	6	2.6058	6.7902	-0.0913	-0.2379
1987	188836	7	3.0401	9.2422	-0.0485	-0.1474
1988	194816	8	3.4744	12.0715	-0.0225	-0.0782
合计			15.6348	38.4778	-1.4469	-1.6723

$$a = \frac{1}{\lg e} \cdot \frac{\sum x \sum xy - \sum x^2 \cdot \sum y}{N \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

$$= \frac{1}{\lg e} \cdot \frac{15.6348 \times (-1.6723) - 38.4778 \times (-1.4469)}{9 \times 38.4778 - (15.6348)^2} = 0.668$$

$$b = \frac{9 \times (-1.6723) - 15.6348 \times (-1.4469)}{9 \times 38.4778 - (15.6348)^2} = 0.074$$

则罗基斯蒂方程式为 ( $k=400000$ ):

$$Y = \frac{400000}{1 + e^{0.668 - 0.074X}}$$

因此, 2003年、2008年、2013年推算人口数, 从1980年开始经历年数分别为  $X=23$ 、28、33, 代入上式得:

$$2003 \text{ 年} \quad Y_{03} = \frac{400000}{1 + e^{0.668 - 0.074 \times 23}} = 295076$$

$$2008 \text{ 年} \quad Y_{08} = \frac{400000}{1 + e^{0.668 - 0.074 \times 28}} = 321127$$

$$2013 \text{ 年} \quad Y_{13} = \frac{400000}{1 + e^{0.668 - 0.074 \times 33}} = 341982$$

## 1.2 污水设计流量的确定

### 1.2.1 污水流量调查及统计分析

废水的流量一般不稳定。在设计废水处理设施前, 应仔细调查废水的流量及其变化。设计前须对废水流量进行实地测量; 如果不能进行实地测量, 则需通过估算来得到流量数据。

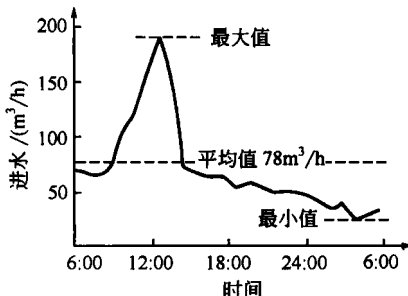


图 1-1 某城市污水处理设施废水  
进水流量日变化曲线

(最大值为平均值的 244%, 最小值为平均值的 32%)

#### 1.2.1.1 表示方法

废水流量变化情况可通过时间-流量曲线来表示。图 1-1 是某城市污水处理设施废水进水流量的日变化曲线图。该废水流量为生活污水、工业废水、公共设施废水、地下水和渗滤水的总和, 没有显示某一类废水的单独流量。在对废水流量变化做预测时, 需对曲线和曲线与时间轴所包含的面积进行分析, 以了解每一类废水的流量对废水总流量的贡献。