

废水处理节能

■ W · F · 欧文

化学工业出版社

废水处理节能

化学工业出版社

X703

版社

废水处理节能

〔美〕 W.F.欧文

秦裕珩 蒋家文 译

潘南鹏 校

化学工业出版社

(京) 新登字039号

内 容 提 要

本书是根据美国1982年出版、W. F. 欧文编著的《废水处理节能》一书翻译而成。全书包括17章分两个部分：第一篇（第1~8章）阐述影响废水处理能耗的关键因素，以及与其它经济部门能耗的关系。其中对各种废水处理方法的能量利用情况有具体介绍；第二篇（第9~17章）着重介绍高能效的废水处理技术，集中讨论主要的能量利用部门，有机物稳定处理和水的输送。

本书可供从事给排水专业 and 环境保护的工程技术人员和管理干部阅读，有关高等院校师生亦可参考。

William F. Owen

ENERGY IN WASTEWATER TREATMENT

1982 PY Prentice-Hall, Inc., Englewood cliffs, New Jersey 07632

废 水 处 理 节 能

秦裕珩 蒋家文 译

潘南鹏 校

责任编辑：骆文敏

封面设计：任 辉

*

化学工业出版社 出版发行

（北京市朝阳区惠新里3号）

煤炭工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所经销

*

开本787×1092 1/16。印张 15 字数 370 千字

1993年8月第1版 1993年8月北京第1次印刷

印 数1—2,000

ISBN 7-5025-1108 -3/TQ·545

定 价11.20元

序

十多年来，能量价格飞速上涨，加之主要能源库频频告罄，能量供求情况对国民经济的重要性已经展露无遗。能量，这个一度仅为少数科学家和工程师使用的字眼，现今已成为千家万户的热门话题。结果，国家能源政策成为竞相研究的目标，而节约能量和加强管理，则已认为是解决迫在眉睫的能量问题的利器。美国科学院报告“1985~2010年 能源的变迁”

(CONAES报告)称：倘若真能使全国能耗大幅度下降，方能将其对我们现有生活方式的冲击减缓至最小。诚如是言，都是因为我们能源的正确管理掉以轻心，才使巨额能量付之东流。然而，瞻望未来，八十年代大概会竭力强化对能量的管理；能源，这个生命攸关的必备物，廉价而丰富的时代已经一去不复返了。

与其它经济部门一样，废水处理中能量的重要性过去也基本上被忽视了。在确定水质目标，以及在设计和运行废水处理设备时，很少认真考虑能量问题。而近来这种倾向却颠倒过来了：能量在有关废水处理的决策中反而起关键作用。正如所料，工业集点的迅速改变已引起某些混乱，并使工作走入歧路。因此，更周密地审查废水处理的能量问题，将不可胜数的本课题资料汇集成册，为该领域的深入调查研究理出个头绪，这就是本书目的之所在。

本书所关注的，仅为影响废水处理能量利用的基本要素，它不想，实际上也不可能事无巨细，面面俱到。为了达到此目的，本书分成两篇。第一篇首先认识那些影响废水处理能耗的关键因素，并就其能量利用与其它经济部门能耗的关系加以描述。然后，为了便于以后的能量分析与讨论，在第二章中引入一些与废水处理的能量有关系的特别术语。从第五章到第八章，对种种具体废水处理方法的能量利用情况详细概述。这一篇主要针对行政主管、公用事业经理、工程师和负责管理的官员而作，他们的兴趣在于对废水处理的能量问题有一个完整而清晰的印象。

第二篇将目光盯在高能效的废水处理技术上，集中讨论主要的能量利用部门，有机物的稳定处理和水的输送。高能效的好氧处理和厌氧处理在第九章和第十章中详细讨论，随后的章节将探讨提升系统和能量回收问题，其它一些重要的题目当然也在其中讨论了。本篇主要是针对工程师、处理厂操作人员和公用事业职员，这部分人对高能效废水处理中的技术问题颇感兴趣。

当代的废水处理技术包含多种学科。为此，本书的目标就是把那些别处弄不到的资料，都按照与本书内容容易衔接的方式纳入本书。因此，读者完全可以用你特别感兴趣的适当参考资料来增补。这本书如果能有助于将本领域的浩如烟海的资料汇集起来，为如此重要的题目进一步的详细研究开拓出一条通路，作者也就心满意足了。

William F. Owen

目 录

序

第一篇 废水处理中的能耗

第 一 章	导论.....	1
	废水处理中的能耗.....	1
	参考文献.....	7
第 二 章	废水处理中的物料平衡和能量平衡.....	8
	比能耗.....	8
	物料平衡和能量平衡.....	8
	从能量的角度确定处理目标.....	10
	城市废水处理中总能量平衡示例.....	15
	摘要.....	18
	参考文献.....	19
第 三 章	间接能耗.....	20
	生产消耗品的能耗.....	20
	生产建筑材料的能耗.....	25
	装置施工的能耗.....	25
	运输的能耗.....	26
	参考文献.....	26
第 四 章	废水处理的能耗.....	27
	城市废水处理的能量需求.....	27
	工业废水处理的能耗.....	29
	城市废水处理中耗能较高的处理方法.....	29
	摘要.....	36
	参考文献.....	37
第 五 章	二级处理的能耗.....	38
	评价的基础.....	38
	对处理方法的描述和分析.....	38
	传统活性污泥法.....	39
	高纯氧活性污泥法.....	39
	氧化沟和延时曝气法.....	39
	生物滤池和生物转盘.....	40
	生物膜和悬浮生长联用法 (ABF).....	41
	曝气氧化塘.....	42
	兼性氧化塘.....	43

	摘要	43
	参考文献	44
第六章	高级废水处理法的能耗	45
	氮的脱除	46
	磷的脱除	53
	氮与磷联合脱除	62
	悬浮固体的去除	65
	难处理有机物的去除	68
	总溶解固体的去除	76
	pH 的调节	82
	消毒	85
	脱氯	88
	参考文献	90
第七章	土地处理系统的能耗	93
	土地处理系统的类型	93
	能耗	94
	能耗和污染物去除的关系	96
	摘要	98
	参考文献	98
第八章	污泥处理中的能量问题	99
	化学调质	99
	热调质	100
	污泥浓缩	100
	污泥脱水	101
	污泥稳定	103
	摘要	105
	参考文献	105

第二篇 高能效的废水处理技术

第九章	高能效的好氧处理法	106
	悬浮生长系统	106
	生物膜系统	114
	摘要	117
	参考文献	118
第十章	厌氧处理法	120
	厌氧处理基本原理	120
	厌氧处理法	127
	浸没介质厌氧反应器与传统废水处理的比较	139
	摘要	141
	参考文献	142

第十一章	提升和输送系统的能量问题	144
	预测使用的能量	145
	动力系统的考虑因素	147
	泵的选择	149
	传动装置选择	150
	最优的输送系统	152
	摘要	153
	参考文献	153
第十二章	从废水处理系统中回收能量	154
	利用厌氧处理过程的生物气	154
	从燃烧过程回收热	162
	摘要	169
	参考文献	169
第十三章	高能效的总体系统设计	170
	初级处理和二级处理的相互影响	170
	二级处理和污泥处理法的相互影响	171
	分段二级处理	175
	污泥脱水对污泥稳定所需比能耗的影响	175
	摘要	178
	参考文献	178
第十四章	高能效的土地处理系统	179
	高能效设计	179
	摘要	181
	参考文献	182
第十五章	废水处理厂的能量审计	183
	电力系统审计	183
	建筑物系统的能量审计	184
	采暖、通风和空调审计	186
	燃烧系统的能量审计	186
	摘要	187
	参考文献	187
第十六章	其他节能技术	188
	在废水处理厂使用太阳能	188
	热泵应用	191
	废水处理厂的控制和计算机系统	193
	摘要	196
	参考文献	196
第十七章	能量回收系统的费用	197
	施工、运行和维护费用	197
	参考文献	209

附 录	210
附录A 能量的相互关系和有用的换算系数	210
附录B 确定各种有机物的生化潜能和化学潜能的计算实例	212
附录C 城市废水各种处理方法的能耗	214
附录D 各种厌氧处理法能量分配方程式的推导	214
附录E 确定水泵运行方式的图解法	218
附录F 常用单位换算表	223
1. 长度	223
2. 质量	223
3. 时间	223
4. 温度	223
5. 物质的量	224
6. 面积	224
7. 体积	224
8. 速度	224
9. 密度	224
10. 比容	225
11. 体积流量	225
12. 质量流量	225
13. 力	225
14. 压力、应力	228
15. 能、功、热量	228
16. 功率	229
17. 热容、熵	229
18. 比热容、比熵	229
19. 比能	229
20. 导热系数	230
21. 传热系数	230

第一篇 废水处理中的能耗

第一章 导 论

自从1973年10月发生阿拉伯石油禁运以来,由于石油输出国组织(OPEC)的原油价格急剧上涨(图1-1),美国公众已敏锐地意识到了国家的燃料供应依赖外国的危险性。为了应付这种局面,美国的政策已转向节约和更广泛地采用国货(1980年能源保护法),以减少对外国能源的依赖。为了对减少能源依赖性——这个最终目标有所裨益,所有的国民经济部门纷纷对各种可能的办法加以仔细的推敲。

污染控制是一项能量密集性技术,过去十年来,因其能耗大而一直受到密切的关注。但由于种种因素,废水处理厂运行的能量预算却一直在以令人惊慌的速率增加。鉴于这种情况,本书旨在对废水处理的关键性领域进行综合分析,其最终目的是为改革勾出个粗线条的框框,并更加彻底地考虑废水处理的规划、设计和运行中的能量问题。

本书首先辨明与能耗有关的关键领域,然后对这些主要的研究对象加以综合性分析。而恰好废水处理的大多数能量也都集中消耗于为数不多的几种基本处理方法,其中主要的一种便是有机物的稳定处理。因此,把精力集中于这些关键性领域,就能优选出高效的设计与规划方案。本章将概要叙述各种形式的能量、相应的利用效率、以及各种能量的价格。

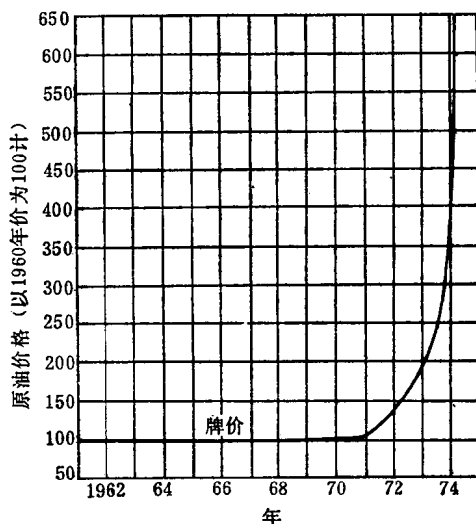


图 1-1 石油输出国组织的原油价格 (以1960年价格为100计) [1]

废水处理中的能耗

废水处理时所消耗的能量(直接能耗和间接能耗^①)通常来自电力、燃料油、柴油、天然气和煤,有时候还有丙烷。在这些能源之间,单位能量的价格及其利用效率有很大差别。当进行系统分析和经济分析而估算能耗并选择能源时,这种差别往往难于阐述得清清楚楚。为了便于参考,现将各种形式能量被消耗者有效使用的典型系数列于表1-1。所耗电能的总有效系数事实上总是低于某一种矿物燃料。考虑到这些差异,通常将能耗折算为“相当原始能量值”,其定义为“取自地球的能量值”[3]。有各种各样的方法可以用来计算相当原始能量值。本书采用参考文献[3]推荐的典型方法:假设热电转换率只有32%(即1千瓦小时

① 在処理厂现场消耗的能量称为直接能耗;而在建造処理厂、生产建筑材料、运输作业以及生产处理药剂时所用材料的生产中消耗的能量称为间接能耗。

= 10500英热单位), 按此将电能折算为矿物燃料的热值(发热量)。正如表1-1所示, 这种方法并未很准确地将各种能量表示为相当原始能量值。尽管如此, 它仍为各种文献的数据之间建立参比基准提供了一种方法。

能量的使用效率同样是一个值得考虑的问题。基本上所有的厂内能量都消耗在机械设备的原动机上。如图1-2所示, 从电能到机械能的设备(大型电动机)转换效率超过90%, 同时, 热能到机械能的设备(汽轮机)转换效率约为30~40%。因此, 如果综合考虑各种因素, 则矿物燃料能源系统和电气能源系统之间的效率差别也就不那么大了, 后者约比前者低30%。而这个差别还是由于电能的输送损失(即输变电损失)较高造成的。一般说来, 能量形式越是变来变去, 其总利用效率就越低。

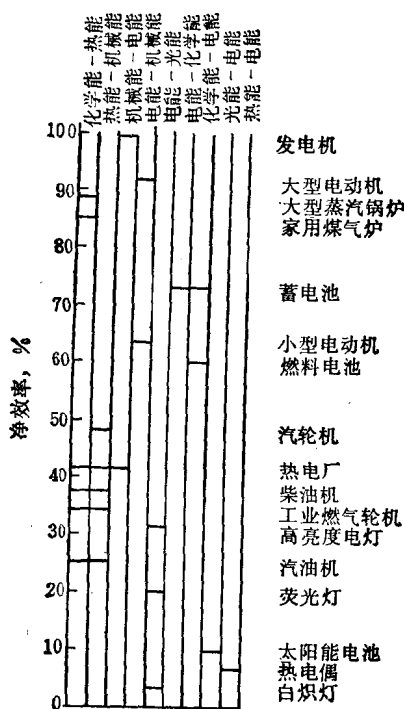


图 1-2 能量利用的效率〔1〕

表 1-1 各种能源的平均热能有效系数和含量〔1〕〔2〕

能源	含热量	送达耗能者的有效能量系数% ^①
煤(褐煤)	11000英热单位/磅	93
石油	138000英热单位/加仑	93
天然气	1030英热单位/英尺 ³	93
电	3412英热单位/千瓦小时	25

① 考虑了开发、生产或炼制、以及输送所造成的损失。

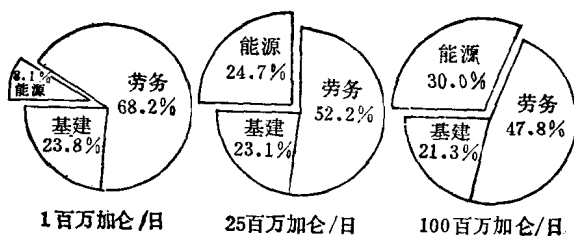


图 1-3 处理厂动力运行预算的一般分配图

另外的能量换算系数参阅附录A。

能量的价格

能量是废水处理厂运行的主要开支之一。图1-3表示某活性污泥处理厂用于能源、劳务和基建开支的典型预算。虽然小厂的能量开支相对要小一些(占总开支的10%以下), 而大厂则可高到占总运行费用的三分之一。而且, 近年来燃料的平均零售价在显著地上升(参阅图1-4), 在可以预见的将来, 还可能继续急剧上升。在这样的前景下, 细致地考虑处理厂规划、设计和运行中的能量就显得非常重要了。

图1-4还展示了能量价格值得重视的明显趋向。很明显, 石油价格所以显著地上涨是因为1973年的阿拉伯石油禁运之故; 与此同时, 电、天然气和煤也以几乎同样的速率持续上涨。通过把能量价格折算成1972年标准价的图1-5, 这种同步上升的趋势也可以很清楚地看出。

来。石油价最受飞速上涨的原油价的影响。而电价所受影响要小得多, 因为只有12%左右的电是用石油产品生产的〔2〕。发电主要用煤, 而煤是美国最便宜的能源。因此, 图1-4和图1-5所示的趋势将来似乎还要延续下去, 石油产品的相对价格与其它形式的能源相比还要逐步上涨。表1-2列出了美国现有的能源平均价, 以供参考。

电和柴油最贵, 与此相反, 天然气和煤最便宜。有趣的是废水处理厂却极少用煤。部分的原因可诿之于使用上的困难和高昂的运费。尽管如此, 当将来废水处理中的能耗问题更加突出时, 煤仍然有可能获得较广泛的应用。

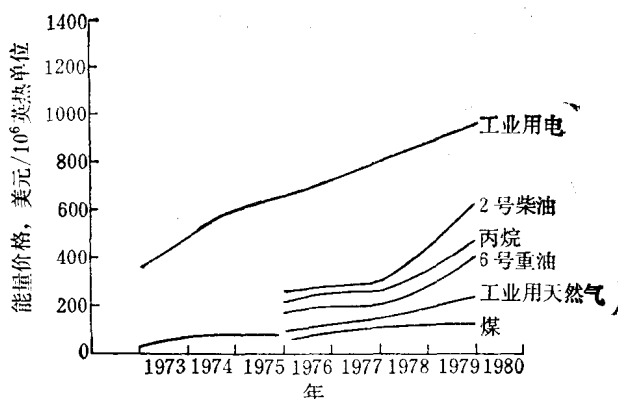


图 1-4 工业部门用能的平均价格〔2〕

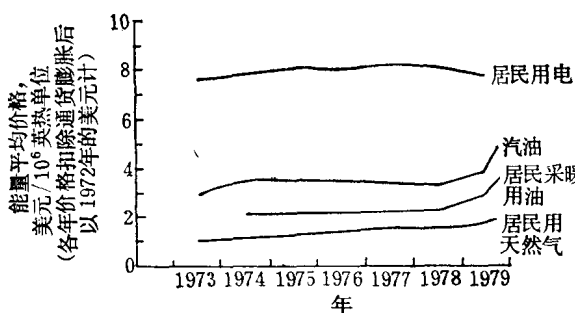


图 1-5 以1972年等值美元为基准的能量平均价格〔2〕

表 1-2 工业能源现行牌价〔2〕①

能 源	对电能 的比价	平 均 购 价	
		美元/10 ⁶ 英热单位	实用单位
电	1.0	11.93	4.07美分/千瓦小时
柴油 (2号)	0.81	9.67	102.2美分/加仑
残余燃料油	0.49	5.84	36.71美元/桶
丙烷	0.44	5.29	48.3美分/加仑
天然气	0.22	2.64	2.72美元/1000英尺
煤	0.12	1.48	37.10美元/吨

① 1981年一季度的工业能源价格。

不同能源的比价也受供求关系的影响。表1-2的牌价是美国的平均价格; 某些能源可以在此平均价上下显著地浮动。美国落基山地区和阿巴拉契亚山脉有丰富的煤 (图1-6A), 因此, 这两个地区的煤和电一般都较便宜。此外, 石油制品 (图1-6B) 和天然气 (图1-6C) 的生产都集中于得克萨斯州、路易斯安那州、俄克拉荷马州、南加利福尼亚州和阿拉斯加州。水电 (图1-6D) 这种最廉价的电能主要在美国太平洋西北海岸生产。

有趣的是, 上述主要的能量生产区都呈现出严重的能量相对过剩 (参阅图1-7)。而能量供应短缺的其它地区 (参阅图1-7中的白色的和灰色地区) 随其相对地理位置却要 为各种能源及其运费付出额外的代价。这种地区性的差异在电能的相对比价上表露无遗 (参阅图1-8)。

既然现代经济中能量的价格在很快上升, 而某些能量价格上升的速度不仅高于其它种类的能量, 而且还高于其它货物价格和服务费用的上升速度, 那么, 在设计未来的能量密集型装置时, 考察研究供求关系、斟酌对整个地区的可用性、以及估量各种能量的相对比价就显得非常重要了。

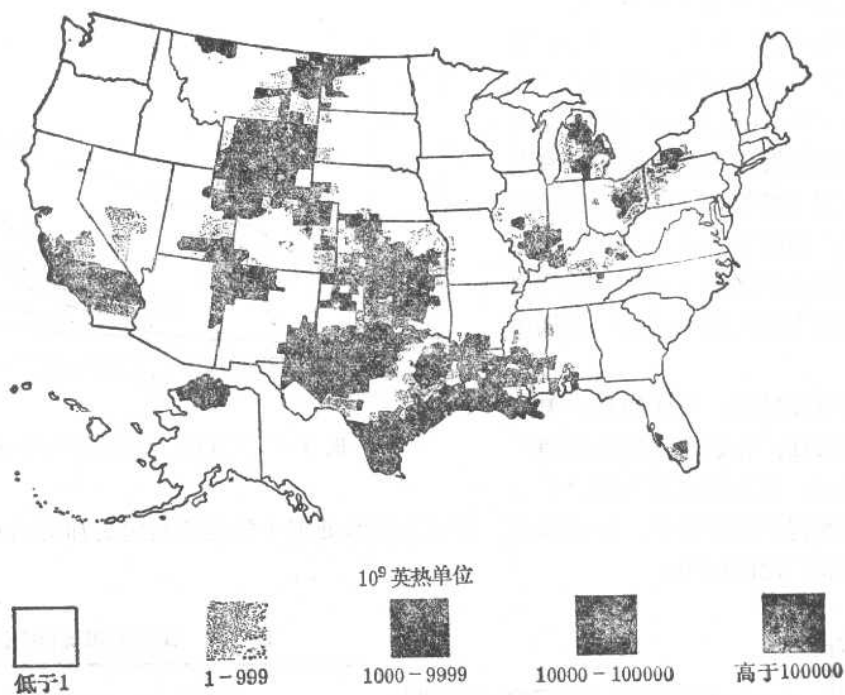


图 1-6A 美国各地煤产量〔4〕

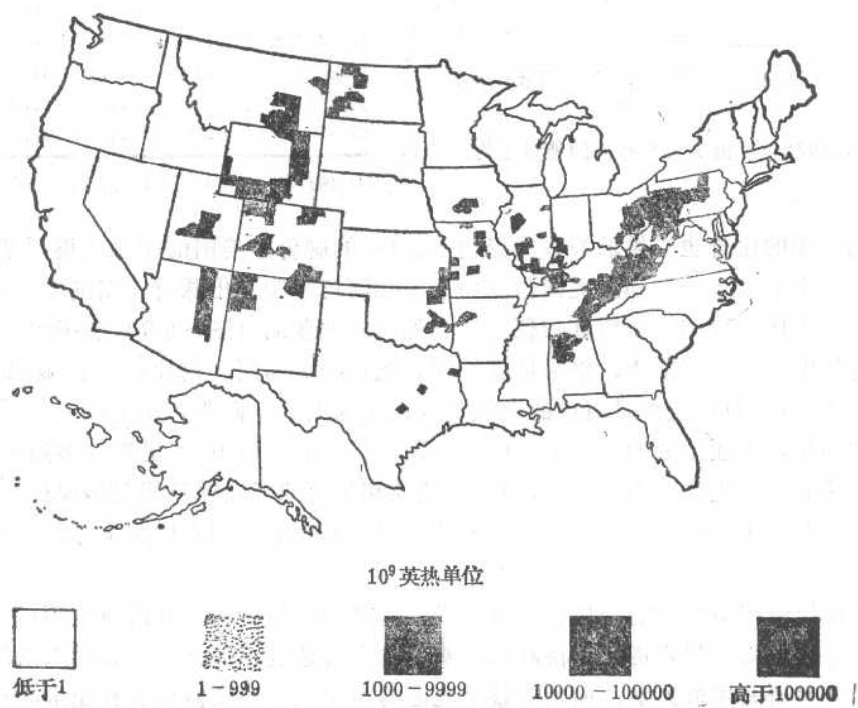


图 1-6B 美国各地石油产量〔4〕

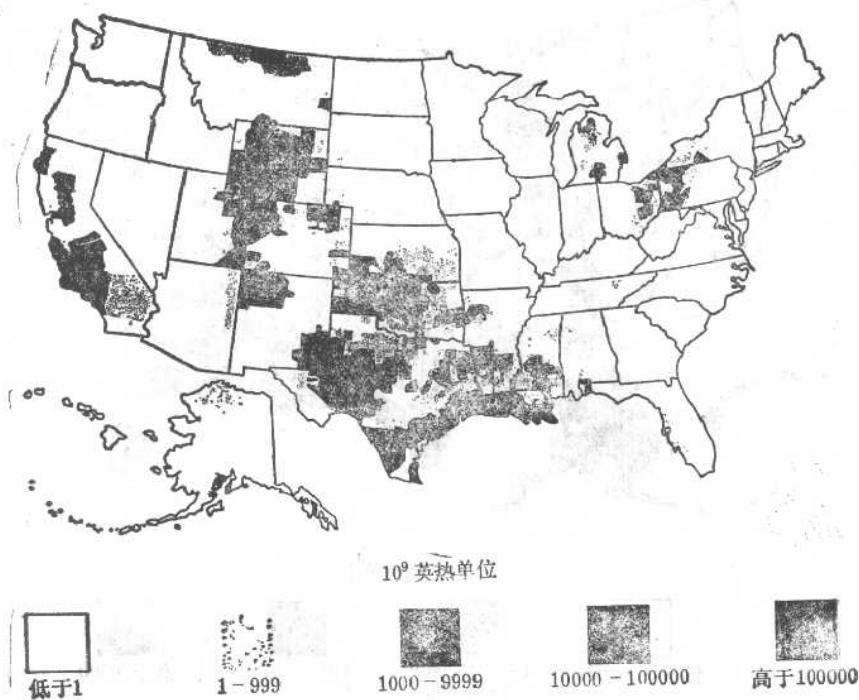


图 1-6C 美国各地天然气产量[4]

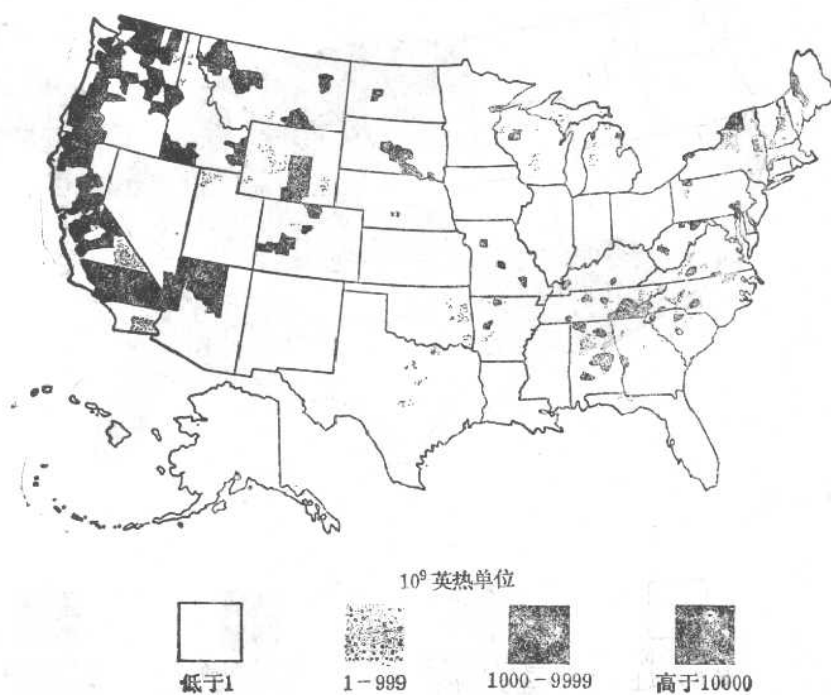


图 1-6D 美国各地的水力发电量[4]

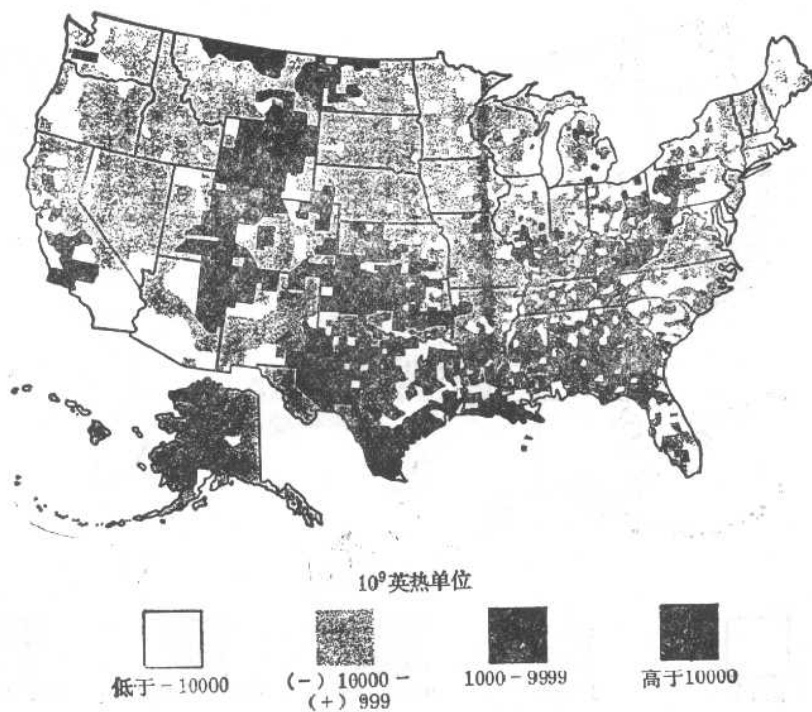
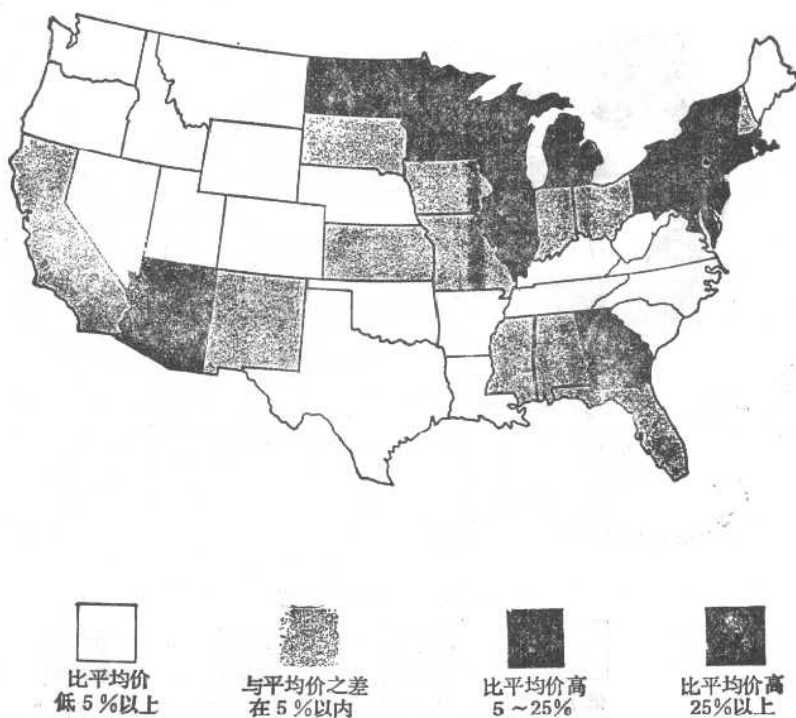


图 1-7 美国各地的燃料产量与消耗量的差额〔4〕



1-8 电价的地区性变动〔5〕

参 考 文 献

1. Loftness, R. L., *Energy Handbook*. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1978.
2. U.S. Department of Energy, "Monthly Energy Review." DOE/EIA 0035/81(07), Washington, D.C., July 1981.
3. U.S. Energy Research and Development Administration, *Application of Net Energy Analysis to Consumer Technologies*. ERDA 77-H UC95C, February 1977.
4. Drysdale, F. R., and C. E. Calef, "The Energetics of the United States: An Atlas." Prepared for the Division of Technology Overview/AES, U.S. Department of Energy, BNL 50501-R, 1977.
5. Federal Power Commission, "Typical Electric Bills." 1974.

第二章 废水处理中的物料平衡和能量平衡

在废水处理系统的设计中，在选择方法、评价工艺、以及优化流程等各方面都常常要用到物料平衡和能量平衡。物料平衡一般只考虑主要污染物及化学处理剂的质量流。而能量平衡则通常把厂里的各种能量来源和消耗都计算在内（例如电力、燃料、煤气、蒸汽、以及燃烧过程中的剩余热量等等）。通过对能量流的进一步严格定量估值，可以更加透彻地理解废水处理系统的设计与运行。能量流中既包括被处理废水的全部剩余能量，也包括单元操作能耗。象这样对整个系统进行的能量平衡计算极少在废水处理厂完成过，其原因在于很难得到全厂与此有关的能级数据。本章根据平常工艺设计与分析中所用的数据，提出一个估算废水处理厂中有关能级的简化方法。本章所介绍的基本原理还将用于随后的废水处理系统的分析。

一般说来，废水处理的能耗是被处理废水的水质、水量、以及基本处理目标的函数。在大多数工业和城市废水处理系统中，基本的处理目标属于以下一种或几种：

污染物的分离与浓缩 消毒
有机物的氧化或稳定 去毒

那些对处理目标有决定作用的常见污染物，按废水的来源在表2-1中一一列出。处理耗能和（或）可回收利用的潜能，包括所耗的热能和机械能，可能是，而且常常是处理前后工艺流程中各相对能级的函数。为了计算这些不同形式的能量，本书引入三个名词：（1）比能耗；（2）化学潜能（CEP）；（3）生化潜能（BEP）。这些名词及其用法以后再给予说明。为了阐述整个处理系统的能量分析，先来看一看以去除常规污染物为宗旨的城市废水处理中的质量流和能量流。

比 能 耗

虽然在规划的时候，废水特性和处理目标的差别都很大，但其处理能耗一般只与欲去除的污染物的质量流和（或）废水流量有关。为了便于能量分析，我们使用“比能耗”这个术语，以表示每处理单位体积的废水所消耗的能量（有时候是产生的能量）（如英热单位/加仑），或去除单位重量的污染物所消耗的能量（如英热单位/磅BOD）。这样，只要将不同处理方法的各单元操作的比能耗相加，就可以比较其能耗大小了。系统总能耗（或其中部分能耗）包括机械能耗、化学能耗和热能能耗。为了便于分析整个废水处理系统，常常希望分别叙述不同形式的能量。既然是这样，单元操作的总比能耗将是各种形式的能量的单独比能耗之和。比能耗可以为正值，代表耗能；也可以为负值，代表产生能量。

物料平衡和能量平衡

物料（或质量）平衡的依据是物质不灭定律，能量平衡的依据是能量守恒定律。废水处理系统的分析有各种具体的目的，可能包括组分评价、系统总评价、系统优化等等。而分析的明细项目则取决于这些研究目标，本书集中评价能量的使用、节能，以及回收能量的可能性。

表 2-1 影响各种废水处理方法的污染物^{〔11〕}

污 染 物	废 水 来 源														
	城 市 废 水	汽 车 工 业	饮 料 工 业	罐 头 工 业	肥 料 工 业	无 机 化 工	有 机 化 工	肉 制 品 加 工	金 属 表 面 处 理	塑 料 与 合 成 物 质	制 浆 与 造 纸	石 油 炼 制	钢 铁 工 业	纺 织 工 业	牛 奶 行 业
BOD ₅	×	×	×	×		×	×	×		×	×	×		×	×
COD		×		×	×	×	×		×	×	×	×		×	×
TOC				×			×				×	×			×
TOD						×									
pH			×	×	×	×	×	×		×	×	×	×	×	×
总固体		×				×									
悬浮固体	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
可沉降固体	×		×					×							
总溶解固体			×	×	×	×	×	×		×	×	×		×	
挥发性悬浮固体												×			
油脂	×	×	×		×		×	×	×	×	×	×	×	×	
一般重金属							×		×		×			×	
铬		×			×	×						×	×	×	
铜												×			
镍		×													
铁		×			×	×						×	×		
锌		×			×					×		×	×		
砷						×									
汞					×	×									
铅		×				×						×			
锡		×											×		
镉		×													
钙					×										
氟化物					×	×									
氰化物						×	×		×	×		×	×		
氯化物		×			×	×	×					×	×		×
硫酸盐		×			×	×				×		×	×		
氨	×	×			×		×	×		×	×	×	×		
钠					×										
硅酸盐						×									
亚硫酸盐											×				
硝酸盐		×			×		×			×	×	×			×
磷	×			×	×	×	×	×		×	×	×			×
有机氮	×				×										
色度	×		×	×				×			×	×		×	×
总大肠杆菌	×		×					×			×				
肠道大肠杆菌	×			×							×				
有毒物质			×					×		×	×	×		×	×
温度	×		×	×	×	×						×	×	×	×
浊度			×					×				×	×		×
泡沫			×												
气味														×	
酚	×	×				×	×			×	×	×	×	×	
氯苯和多环芳烃						×				×					
硫醇和硫化物										×		×		×	