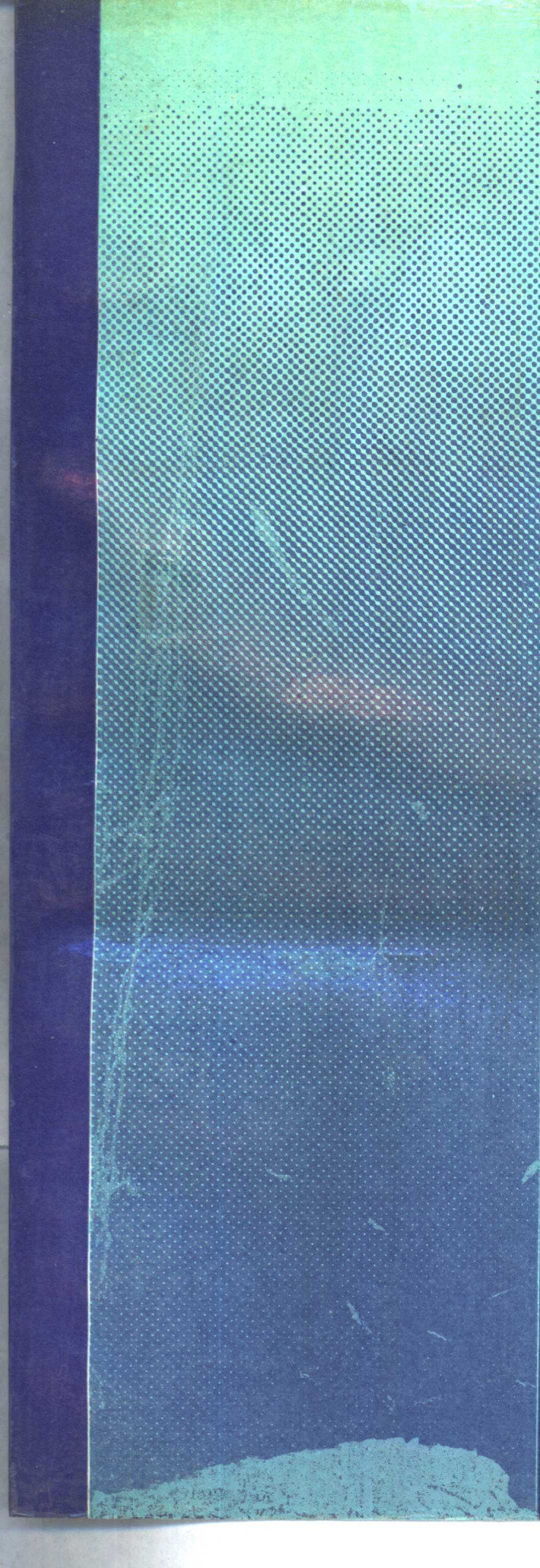




污水处理 能耗与能效

〔美〕 W·F·OWEN 著

章北平 车 武译

金儒霖校

能源出版社

污水处理能耗与能效

〔美〕 W·F·Owen 著

章北平 车武 译

金儒霖 校

能源出版社

内 容 简 介

本书较详尽地论述了城市污水和工业废水及污泥处理的能耗与能效，并从节能角度对各种处理工艺做了比较。书中给出大量关于能耗与能效方面的数据及图表，并附有计算例题。其中上篇论述了污染物的能量概念及污水处理能量的专门术语、污水处理的物料与能量平衡原理、影响污水处理能耗的关键因素；给出污水二级处理、高级处理、土地处理和污泥处置等能耗。下篇侧重论述污水提升、好氧处理、厌氧处理、土地处理和综合处理系统的能效节能设计；介绍了污水与污泥处理的能量回收技术及处理厂的能量核算和能源开发等。本书可供给排水及环境工程专业的科研、设计、规划、生产和管理人员及大专院校师生参考。

污水处理能耗与能效

章北平 车 武 译
金儒霖 校

能源出版社出版 新华书店经销
河北省定兴县兴华印刷厂印刷

787×1092 1/16 15.8印张 394千字

1989年12月 第一版 1989年12月 第一次印刷

印数：1—8,500册

ISBN7-80018-085-9/T·11 定价：10.00元

译者序

W.F.Owen所著《污水处理能耗与能效》是目前所见的第一部系统论述污水处理能源问题的专著。书中以能源问题为中心,详尽地阐述和比较了能源密集型、节能型及一些新型的污水与污泥处理工艺和综合系统,如好氧和厌氧工艺、A/O和A²/O法脱氮、脱磷、土地处理、SMAR系统等;介绍了能量回收及利用技术;提供大量的能耗与能效数据和图表。从能量概念、耗能及节能角度论述污水处理和污泥处置技术是本书的独到之处。对于提高我国水污染控制技术与管理水平,开发能效较高的污水处理技术,合理设计及运行污水处理厂,降低处理厂能耗及费用等方面颇有参考价值。

能源紧缺是当今国际性的重大问题。随着工业的高速发展,国内能源也日益紧张;另一方面,由于有关部门重视不够,规划、设计、管理不善等原因,能源浪费情形也较为严重。我国污水处理事业发展较慢,处理厂能耗大、费用高可谓原因之一。重视对现有污水处理设施的改造挖潜、合理地运行管理,以降低能耗;对新建设施的合理规划、优化设计,以提高能效;对各类污水处理系统尽可能实现其能量的回收利用,以开发能源,乃是目前国内污水处理行业的紧要课题。本书的翻译出版,希望有助于我国水污染控制行业对这些课题的重视和深入研究。

翻译时,对原著“序言”、第一章“导言”及其它章节个别内容作了适当删减与整理。对原著文字及数据遗误也做了改正,一些明显错误改正后未加注。原著计量单位大部分为英制,有些采用美制,除个别保留原单位外,均换算为法定计量单位。为使译著中坐标为整数,且避免移动原著曲线及图形的位置,而采用坐标系数换算法。此外,将国际单位制单位的符号和名称表列于附录F,供查索。

章北平(武汉城市建设学院讲师)翻译本书的上篇;车武(北京建筑工程学院讲师)翻译下篇、序言及附录;金儒霖教授(武汉城市建设学院)主校。

本著涉及面较广限于译者水平有限,书中难免有错误或不妥之处,请读者指正。

译者

1986年10月

序 言

七十年代,能源价格持续上涨及动力不足,清楚地表明能源的需求及供给在国家经济中的重大意义。能源——这一问题过去仅为极少数工程师所考虑,现在已引起普遍关注。国家能源方针也成为许多研究的主题,其中加强能源的管理及节能措施是缓和当前能源危机的基本对策。国家科学院提交了一份题为“能源的转折”(“Energy in Transition 1985—2010”)的报告,该报告指出,大量的能源是由于管理不善而白白浪费掉。展望未来,八十年代将更加重视加强对能源这一紧俏日用品的管理,因为能源充裕和廉价的时代已经过去。

象其它经济领域一样,过去,污水处理中能耗的重要性也被忽视了,在制定水质标准及污水处理设施的设计、运行中,能耗问题没有给予足够的重视。但目前这种状况已有所转变。现在,在多数污水处理决策过程中,能耗问题已成为关键因素之一。

不出所料,工业形势的急剧变化势必带来一些难题,使人不知所措。本书旨在深入细致地研究污水处理中的能量问题,提供大量的有关资料,为进一步研究这些难题奠定基础。

本书重点讨论影响污水处理能源利用的主要因素。全书分上、下两篇。上篇讨论影响污水处理能耗的关键因素以及污水处理能耗与其它方面能耗的关系。其中第二章介绍了关于污水处理能源的专门术语,以便后续分析讨论。第五章至第八章对各种污水处理工艺的能耗做了全面阐述。这部分内容主要是使行政管理人员、公共事业经理、工程师等对污水处理的能耗有一个总的了解。

下篇主要讨论处理工艺的能效问题,尤其是那些主要的耗能工艺,如有机构物的稳定、水的输送等。其中第九、十两章详细讨论好氧及厌氧处理的能效问题,其它各章讨论水泵提升、能量回收等方面的问题。这部分内容的主要宗旨是使工程师、处理厂运行管理等有关人员掌握污水处理中的节能技术。

当代污水处理技术涉及许多不同的学科。本书还深入浅出地介绍一些在本学科范围内难以查寻的内容。读者可能对某些专题感兴趣,欲获更详尽的有关资料,作者诚望本书能给您提供这一领域里的大量信息,以利更加深入地研究此重大课题。

Willian F.Owen

目 录

译者序

序 言

上篇 污水处理的能源消耗

第一章 导言	(3)
第1节 污水处理所用的能源	(3)
第2节 能源价格	(4)
参考文献	(5)
第二章 污水处理物料与能量平衡	(6)
第1节 比能耗	(8)
第2节 物料和能量平衡	(8)
第3节 处理对象的能量概念	(8)
第4节 城市污水处理总能量平衡实例	(13)
小结	(15)
参考文献	(17)
第三章 间接能耗	(18)
第1节 处理厂消费原料的产生	(18)
第2节 处理厂建筑材料的生产	(23)
第3节 处理设施的建造	(24)
第4节 运输能耗	(24)
参考文献	(24)
第四章 污水处理的能源需量	(25)
第1节 城市污水处理的能源需量	(25)
第2节 工业废水处理的能源需量	(27)
第3节 城市污水处理的能源密集型工艺	(28)
小结	(37)
参考文献	(37)
第五章 二级处理的耗能	(38)
第1节 评价的基础	(38)
第2节 工艺描述和分析	(38)
第3节 传统活性污泥法	(39)
第4节 纯氧活性污泥法	(40)

第5节	氧化沟与延时曝气法	(40)
第6节	生物滤池与生物转盘	(40)
第7节	生物膜和悬浮生长工艺的组合法 (ABF)	(41)
第8节	曝气氧化塘	(42)
第9节	兼性塘	(44)
小结		(44)
参考文献		(45)
第六章	污水高级处理的耗能	(46)
第1节	氮控制耗能	(47)
第2节	脱磷耗能	(57)
第3节	脱氮、磷组合工艺耗能	(67)
第4节	SS去除耗能	(70)
第5节	难降解有机物去除耗能	(73)
第6节	除总溶解性固体耗能	(83)
第7节	pH调节的耗能	(90)
第8节	消毒的耗能	(94)
第9节	脱氯的耗能	(98)
参考文献		(100)
第七章	土地处理系统的耗能	(103)
第1节	土地处理系统的类型	(103)
第2节	土地处理系统的耗能	(105)
第3节	污染物去除的耗能	(107)
小结		(108)
参考文献		(108)
第八章	污泥处置的耗能	(110)
第1节	化学调节	(110)
第2节	热调节	(111)
第3节	污泥浓缩	(111)
第4节	污泥脱水	(113)
第5节	污泥稳定	(115)
小结		(116)
参考文献		(116)

下篇 污水处理技术及其能效

第九章	好氧处理系统及其能效	(119)
第1节	活性污泥法	(119)
第2节	生物膜法	(127)
小结		(131)

参考文献	(132)
第十章 厌氧处理系统及其能效	(134)
第1节 厌氧处理的基本原理	(134)
第2节 厌氧处理工艺	(142)
第3节 SMAR与常规污水处理法比较	(153)
小结	(156)
参考文献	(157)
第十一章 污水提升及输送系统的能源	(160)
第1节 预算需能源	(161)
第2节 动力系统的影响	(164)
第3节 泵的选择	(166)
第4节 传动装置的选择	(166)
第5节 最优输送系统	(169)
小结	(169)
参考文献	(170)
第十二章 污水处理系统中的能源回用	(171)
第1节 厌氧处理的甲烷气利用	(171)
第2节 燃烧工序中的热量回收	(179)
小结	(187)
参考文献	(188)
第十三章 综合处理系统的节能设计	(189)
第1节 一级和二级处理的相互作用	(189)
第2节 二级处理和污泥处理的相互作用	(190)
第3节 分级二级处理	(191)
第4节 污泥脱水对污泥稳定比能耗的影响	(195)
小结	(197)
参考文献	(197)
第十四章 能效较高的土地处理系统	(198)
第1节 系统的节能设计	(198)
小结	(200)
参考文献	(200)
第十五章 污水处理厂的能源核算	(201)
第1节 电力系统能源核算	(201)
第2节 建筑系统能源核算	(202)
第3节 采暖、通风和空调能源核算	(203)
第4节 燃烧系统能源核算	(204)
小结	(204)
参考文献	(204)
第十六章 能源开发及节能技术	(205)

第1节 污水处理厂中太阳能的利用	(205)
第2节 热泵应用	(208)
第3节 污水处理厂控制及计算机系统	(211)
小结	(213)
参考文献	(213)
第十七章 能源回收系统的费用	(214)
第1节 建造及运行管理费	(214)
参考文献	(226)
附录	
附录A 能源关系及单位换算	(227)
参考文献	(228)
附录B 有机物BEP和CEP的计算实例	(229)
附录C 城市污水处理的耗能	(231)
参考文献	(234)
附录D 厌氧处理过程能源分配方程的推导	(235)
参考文献	(236)
附录E 确定泵运行方案的图解法	(237)
附录F 国际单位制单位的符号及其名称表	(244)

上 篇

污 水 处 理 的 能 源 消 耗

第一章 导 言

从能源消耗角度研究污染控制这门能量密集型的综合技术，远在七十年代就引起人们的重视。由于种种原因，污水处理厂运行能源的成本，一直以惊人的速度上升。本书的宗旨在于分析污水处理中具有危机感的能源问题，为更合理、更全面地考虑污水处理厂的规划、设计、运行中的能量问题奠定基础。

本篇重点讨论能耗问题，并对与此有关的主要问题予以综合分析。污水处理用的能源大多耗费于某些主要污染物的处理，尤其是有机物的稳定。因此，致力于这些关键领域的研究，可获得最优的节能设计和规划。导言将给出各种能源的形式、相对利用率及其价格。

第1节 污水处理所用的能源

耗费于污水处理的能源（直接或间接耗能^[1]）一般为电能、燃油、柴油、天然气、煤，有时也用丙烷，但为数极少。能源的单位、能量利用率和价格具有十分重要的意义。在能耗计算、系统能源选择时，上述能源的差别往往难以比较。提供给用户的各种形式能源的典型热效率列于表1-1，供参考。供给电能的总效率远低于使用化石燃料的总效率。考虑到这些差别，能源消费量一般参照“一次能源当量”来计算。一次能源当量系指能源物质由地下开采时的含能量^[2]。一次能源当量的计算方法较多，本书采用文献〔3〕提出的常用方法：电能参照化石燃料的燃烧热值。假定电能转化为机械能的效率为32%（即： $1\text{kW}\cdot\text{h}=11080\text{kJ}$ ）。从表1-1可见，如此计算并不能准确地表达各种能源的一次能源当量。它只能作为各种能源的参考数据。

表 1-1 供给用户的各种能源热效率和热含量表^{〔1〕〔2〕}

源 能	能	量
	热 含 量	供给用户的能量效率 ^① %
煤 ^②	25580 (kJ/kg)	93
石 油	38460 (kJ/L)	93
天 然 气	38270 (kJ/m ³)	93
电	3600 (kJ/kW·h)	25

- ① 供给效率考虑由于生产，发电或精炼和传输所引起的能量损失。
② 含沥青的褐煤。

① 直接耗能为耗费于现场处理运行的能源；间接耗能则是耗费于现场所用原料的生产、建筑施工、结构材料的生产及运输的能源。

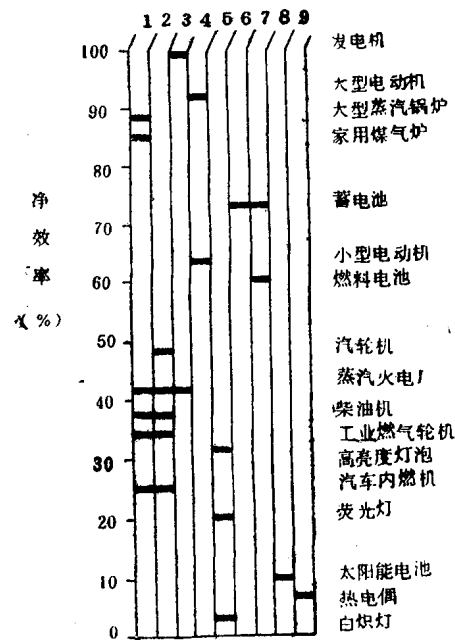


图 1-1 能量利用效率^{〔1〕}

- ① 化学能—热能 ② 热能—机械能 ③ 机械能—电能
④ 电能—机械能 ⑤ 电能—辐射能 ⑥ 电能—化学能
⑦ 化学能—电能 ⑧ 辐射能—电能 ⑨ 热能—电能

能源利用效率是一个相当重要的概念。所有处理厂的能源基本上耗费于机构设备的驱动。图1-1表明，电能转换为机械能（大功率电动机）的效率超过90%，而热能转换为机械能（汽轮机）的效率则为30—40%左右。如综合考虑每一因素，化石燃料系统和电源系统的效率差异并不很大；电能系统的效率比化石燃料系统的效率约低30%。此差值主要由于电能输送损失较大。然而，总的说来，能源转化的次数越多，其利用率就越低。

其它能源间的关系及换算系数列于附录A。

第2节 能价格源

污水处理厂主要运行费用是能源费用。图1-2给出一个活性污泥处理厂的能源费用、人工费用、基本建设费用的典型分配百分比。由图可见，小型污水厂的能源费用很低（低于总费用的10%），而大型污水厂能源预算额却占总运行费用的三分之一。此外，近年来燃料的平均零售价急剧上涨（图1-3），而且预计将来会更进一步上涨。由此可见，在处理厂规划、设计和运行中认真考虑能源这一因素是十分重要的。

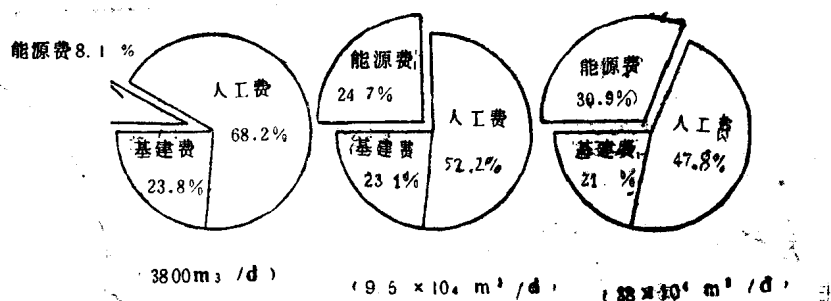


图 1-2 污水处理设施 (POTW) 营业成本典型分配比例

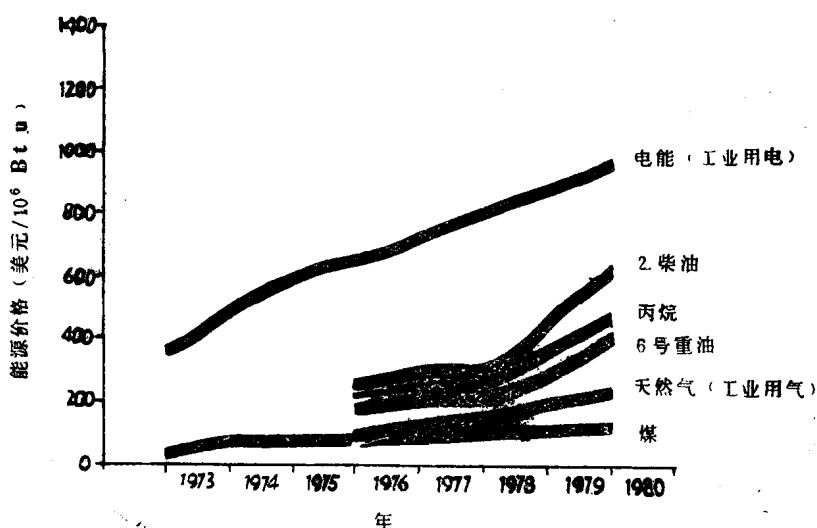


图 1-3 耗于工业的能源的平均价格⁽²⁾ (基于1972年的美元价值)

图1-3表明能源价格的明显增长趋势，这是一个十分有价值的问题。重要的是，自从1973年

阿拉伯原油禁运以来,石油价格上涨速度惊人;而且电能、天然气、煤的格价也稳步上涨,其速率接近通货膨胀的速率。图1-4清楚地表明了这一点。石油价格已受到迅速上涨的原油价格的影响。电价所受的影响则不大,因石油发电量仅占总发电量的12%^[2];大部份电能来自燃煤发电厂,而煤的价格较低。图1-3与1-4所显示的石油与其它能源相对价格大幅度增加的趋势将持续下去。美国能源现行平均价格列于表1-2。

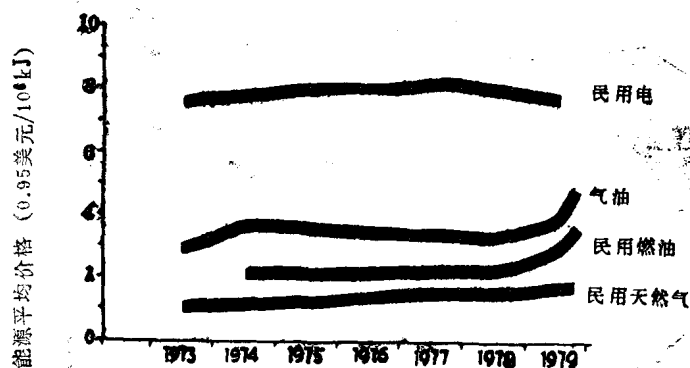


图 1-4 能源平均价格^[2] (1972年定值美元)

表 1-2

工业能源的现行价格^{① [2]}

能源形式	以电能为基准 的价格	平 均 供 给 价 格	
		(美元/10 ⁶ kJ)	统 一 单 位
电 能	1.0	19.82	4.07 (美分/kW·h)
柴油(2炭)	0.81	16.05	102.20(美分/kW·h)
煤 油	0.49	9.70	0.23(美元/L)
丙 烷	0.44	8.75	12.76(美分/L)
天 然 气	0.22	4.39	0.10(美元/m ³)
煤	0.12	2.46	37.10(美元/t)

① 1981第一季度能源的工业价格。

电能与柴油的价格最高,而天然气与煤的价格则最低。有趣的是,美国的污水处理厂几乎不以煤作为能源,其主要原因是煤处理困难,且成本较高。然而,预料煤将成为污水处理的主要能源而广泛应用。

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, ERDN 77-HUC95C, February 1977.

第二章 污水处理物料与能量平衡

物料和能量平衡常用于污水处理系统的分析、评价及优化设计。物料平衡一般考虑主要污染物和处理药剂的质量流量，而能量分析一般包括厂内的能源和需求量（如电、燃料、燃气、蒸汽和燃烧过程的热平衡等）。对能源进行更精密的分析，其中包括被处理污染质的总能量平衡和处理单元的耗能分析有助于进一步考核系统的设计和运行。因难于获得污水厂能耗的全部数据，上述的系统总能量平衡很难进行。本章基于供系统设计和分析的典型数据，提出污水厂相应能耗的简便算法。其中论述的基本原理将用于后续污水处理系统的能量分析。

污水处理的能耗是污水水量和水质及其处理方法的函数。在大多数城市污水和工业废水处理系统里，基本处理方法可分为以下几类：

污染质的分离和浓缩

有机物的氧化或稳定

消毒

消除放射性

决定处理方法的常见污染质，按污染源的不同而列于表2—1。污水处理的能量消耗或回收，往往不仅取决于处理前后污水本身具有的相应能级，还取决于热能、机械能的需要量。在论述时，考虑不同的能源形式而引入三个概念：（1）比能耗。（2）化学潜能（CEP）（3）生化潜能（BEP）。概念的定义及其应用在下文分别论述。

表 2-1

决定污水处理工艺的污染质

污染质	污 水 源													
	城市污水	汽车制造	饮料生产	食品加工	化肥生产	无机药剂生产	有机药剂生产	肉类加工	金属抛光	塑料生产及化学合成	纸浆及造纸	石油提炼	钢铁生产	纺织奶场
BOD ₅	×	×	×	×		×	×	×		×	×	×		×
COD		×		×	×	×	×		×	×	×	×		×
TOC				×			×				×	×		×
TOD						×								
总固体			×	×	×	×	×	×		×	×	×	×	×
SS		×				×								
PH	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
可沉固体	×		×					×						
TDS			×	×	×	×	×	×		×	×	×		×
VSS												×		

续表 2-1

污染质	污 水 源													
	城市污水	汽车制造	饮料生产	食品加工	化肥生产	无机药剂生产	有机药剂生产	肉类加工	金属抛光	塑料生产及化学合成	纸浆及造纸	石油提炼	钢铁生产	纺织奶场
油和脂肪	×	×	×		×		×	×	×	×	×	×	×	×
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	×													
总大肠杆菌	×		×	×				×			×	×		×
粪便大肠菌	×		×					×			×			
毒物	×			×							×			
温度	×		×							×	×	×		×
浊度			×	×	×	×		×				×	×	×
泡沫			×								×	×		×
味			×											
酚	×	×								×	×	×		×
氯化苯环和多核芳香烃						×	×			×		×	×	×
硫醇硫化物										×		×		

第1节 比能耗

尽管各处理过程（或系统）的特性及用途差别显著，但污水处理所需能量一般均与污染质去除量及污水流量密切相关。为便于能量分析，而引用“比能耗”概念。比能耗定义为处理单位污水量所耗费（或产生）的能量（如kJ/L）或去除单位污染质耗费（或产生）的能量（如kJ/kgBOD）。由此，可比较各处理单元的总比能耗来选择处理方案。处理系统或单元的总需能量是机械能、化学能、热能的函数。为方便整个系统分析，往往需统一地表达不同形式的能量。此时处理单元的总比能耗应是各种形式能量的比能耗之总和。比能耗可为正值（耗能），亦可为负值（增能）。

第2节 物料和能量平衡

物料或质量平衡基于物质守恒原理；能量平衡基于能量守恒原理。建立平衡关系的目标可以是处理单元或系统的评价，亦可为系统优化等。分析的详细程度随研究目的而不同。本书主要分析能源的利用、节约和回收。

物料和能量平衡基本原理基于系统内质量或能量流率及总能量的变化：

$$\text{能量(质量)增量} = \text{输入能量(质量)} - \text{输出能量(质量)} \quad (2-1)$$

令系统（含系统边界）为分析对象，则分析的基本组分有：

污染质

水

所投药剂

能量

图2-1 给出能量平衡基本关系。在建立能量平衡关系式时，必须在系统中选择一个参数作为参照能级。在污水处理系统分析中，选取入流温度作参照能级较为方便。在能量平衡中，详细的数量将会变化。然而，对于系统的温度，尽管它可构成系统的一个主要能汇，但在许多情况下，其变化相对而言并不重要。在此情形下，常假定能量是穿过该系统的边界而损失。可是，对某些系统分析，污水的温度变化则是一个重要的工艺因素，不可忽略。

$$\left(\begin{array}{c} \text{系统内能} \\ \text{量增量} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{输入系统} \\ \text{的能量} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{输出系统} \\ \text{的能量} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{c} \text{系统内产} \\ \text{生的能量} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{系统内消} \\ \text{耗的能量} \end{array} \right)$$

图 2-1 能量平衡基本关系

第3节 处理对象的能量概念

图2-2 给出城市污水中与污染质去除机制有关的主要组分的相对比率^[1]。其中可燃性或挥发性有机固体约为总固体的1/2，而有机固体的1/2为可生化降解物质（即总固体的25%为可生化降解物质）。初次沉淀池去除的可沉物质（>10μm）含可生化降解和难以生化降解物质。初级处理和二级处理相结合的系统，不仅去除这部分可沉物质，而且还可去除剩余的可生化降解有机物。在特殊的处理情况下，采用三级处理去除外加的有机物和无机物。由