

美国水环境联合会 (WEF[®]) 环境工程实用手册系列

净水厂和污水处理厂节能手册

Energy Conservation in Water and Wastewater Facilities

[美] 美国水环境联合会 编著
白 宇 阜 巍 宋亚丽 等译
甘一萍 审校

中国建筑工业出版社

美国水环境联合会（WEF®）环境工程实用手册系列

净水厂和污水处理厂节能手册

[美] 美国水环境联合会 编著
白 宇 阜 崑 宋亚丽 等译
甘一萍 审校

中国建筑工程工业出版社

著作权合同登记图字：01-2010-6103 号

图书在版编目 (CIP) 数据

净水厂和污水处理厂节能手册/(美)美国水环境联合会编著;
白宇等译. —北京:中国建筑工业出版社, 2012.7

美国水环境联合会 (WEF®) 环境工程实用手册系列

ISBN 978-7-112-14271-2

I. ①净… II. ①美…②白… III. ①净水-水厂-节能-技术
手册②污水处理厂-节能-技术手册 IV. ①TU991.2-62②X505-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 084752 号

Energy Conservation in Water and Wasterwater Facilities, MOP 32

Copyright ©2010 by the Water Environment Federation.

All rights reserved.

The authorized Chinese translation edition is jointly published by McGraw-Hill Education (Asia) and China Architecture & Building Press. This edition is authorized for sale in the People's Republic of China only, excluding Hong Kong, Macao SAR and Taiwan.

Copyright©translation 2016 by China Architecture & Building Press.

本书由美国麦格劳-希尔图书出版公司正式授权我社翻译、出版、发行本书中文简体字版。

责任编辑: 石枫华 程素荣

责任设计: 董建平

责任校对: 张 颖 姜小莲

美国水环境联合会 (WEF®) 环境工程实用手册系列

净水厂和污水处理厂节能手册

[美] 美国水环境联合会 编著

白 宇 阜 巍 宋亚丽 等译

甘一萍 审校

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 13¼ 字数: 328 千字

2016 年 6 月第一版 2016 年 6 月第一次印刷

定价: 58.00 元

ISBN 978-7-112-14271-2

(22323)

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)

原著编写组

本书由美国水环境联合会净水厂和污水处理厂节能工作组编写。

Ralph B. “Rusty” Schroedel, Jr (注册工程师, 环境工程师, 主席)

Peter V. Cavagnaro (注册工程师, 环境工程师, 副主席)

Raul E. Aviles Jr. (注册工程师、测试工程师, 注册工程经理)

David M. Bagley (博士, 注册工程师)

Edward Baltutis

Glen R. Behrend (注册工程师)

Joseph Cantawell

Randall C. Chann (注册工程师)

S. Rao Chistopher (注册工程师)

John Chrisstopher (注册工程师)

Stuart Kirkham Cole (博士, 注册工程师)

Peter R. Craan (注册工程师)

Alex Ekste (博士, 注册工程师)

Richard Finger

Eugenio Glraldo

Matthew J. Gray (注册工程师)

Mark R. Green (博士)

Tom Jenkins

Carl R Johnson (注册工程师, 环境工程师)

Dimitri Katehis

Gregory Lampman

Lee A. Lundberg (注册工程师)

Venkatram Mahendraker (博士, 注册工程师)

James J. Marx (注册工程师)

Henryk Melcer

Indra N. Mitra (博士, 注册工程师)

Kathleen O'Connor (注册工程师)

Sundhanva Paranjape (注册工程师)

Vikram M. Pattarkine (博士)

Marie-Laure Pellegrin (博士)

Beth Petrillo

Mark Revilla (注册工程师)

David R. Rubin

Michael A. Sevenser (注册工程师, 环境工程师)

Brian D. Stitt

Don Voigt (注册工程师)

Thomas M. Walski (博士, 注册工程师, 美国水研究工程师)

Roger C. Ward (注册工程师, 环境工程师)

James E. Welp

Jianpeng Zhou (博士, 注册工程师, 环境工程师)

本书由技术实践委员会的市政设计组指导编写。

《净水厂和污水处理厂节能手册》翻译组

翻译人员

前言、附录：白 宇 卢爱国 李 烨

第1章：阜 崑 胡 俊 曹相生 白 雪

第2章：宋亚丽 卢长松 赵 颖 邵玉楠

第3章：张道友 白恒君 谢继荣 张文超

第4章：杨岸明 马文瑾 杨 超

第5章：李鑫玮 李 烨 许世伟 李魁晓

第6章：白 宇 卢爱国 黎 艳 邵玉楠

第7章：常 江 孟春霖 石 磊

第8章：梁 远 王晓爽 于丽昕 韩晓宇

第9章：柏永生 王佳伟 赵 珊 刘 垚

第10章：郝二成 张 辉 李 烨 常 菁 张 亮

第11章：王佳伟 陈 沉 张静慧 杨岸明

参加审校人：谭乃秦

原 著 前 言

在给水处理设施的设计和运行过程中, 耗能与节能日益受到重视。本书旨在帮助市政行业的管理运行和设计人员进行工艺及设备能耗的分析评价, 并为如何采用节能降耗的措施提供指导和建议。本书还将讨论节能项目的组织、评价及管理方法。

本书主编 Ralph B. Schroedel, Jr (注册工程师, 环境工程师, 主席), Peter V. Cavagnaro (注册工程师, 环境工程师, 副主席)。

各章节编排人员如下:

第 1 章 Peter V. Cavagnaro

第 2 章 Roger C. Ward (注册工程师, 环境工程师)

第 3 章 Edward. Baltutis

第 4 章 Thomas M. Walski (博士, 美国水研究工程师, 注册工程师)

第 5 章 Peter R. Craan (注册工程师)

第 6 章 Sudhanva Paranjape

第 7 章 Brian D. Sitt

第 8 章 Vikram M. Pattarkine (博士)

第 9 章 Tom Jenkins

第 10 章 Eugenio Giraldo

第 11 章 Joseph Cantwell

附录 A Peter V. Cavagnaro (注册工程师, 环境工程师)

附录 B Peter V. Cavagnaro (注册工程师, 环境工程师)

附录 C Peter V. Cavagnaro (注册工程师, 环境工程师)

对本书各章节做出贡献的作者还包括: David Fenster (第 2 章), John Christopher (第 7 章), Dimitri Katehis (第 7 章), Venkatram Mahendrakar (博士, 注册工程师) (第 8 章), David R. Rubin (第 8 章)。

校核人员除了水环境协会专员及技术实践委员会成员外, 还有 Patrick L. Daigle, Tim Dobyons, Christopher Godlove 和 Amy Santos。

作者及审阅人员在工作中还得到了以下组织的帮助:

AECOM, lake forest, California and Sheboygan, Wisconsin

Aqua TEC Inc., Houston Texas

Bently Systems, Inc., Watertown, Connecticut

BioChem Tecnology, Inc., King of Prussia, Pennsylvania

Black & Veatch, Cincinnati, Ohio

Brown and Caldwell, Seattle, Washington

Carollo Engineers, Winter Park, Florida

CDM, Chicago, Illinois And Phoenix, Arizona
 CH2MHILL, Chantilly, Virginia, and New York, New York
 Clinton Foundation, Washington, DC
 County Sanitation Districts of Los Angeles County, Whittier, California
 Environmental Dynamics Inc. , Columbia, Missouri
 Ekster and Associates, Fremont, California
 Emergences Application Engineering Group, Cedarburg, Wisconsin
 ERM, Exton, Pennsylvania
 ESCOR, Milwaukee, Wisconsin
 Focus on Energy, Madison, Wisconsin
 Georgia EFD, Atlanta, Georgia
 GE Water & Process Technologies, Oakville, Ontario, Canada
 Hazen and Sawyer, New York, New York
 HDR, Tampa, Florida
 HNTB Corporation, Indianapolis, Indiana
 Johnson Control, Inc. , Milwaukee, Wisconsin
 KCL Technologies, Sparks, Maryland
 Malcolm Pirnie, Inc, White Plains, New York
 McKim & Creed, Virginia Beach, Virginia
 Metcalf & Eddy, Sunrise, Florida
 New York State Energy Research and Development Authority (NYSERDA), Albany, New York
 O'Brien&Gere Engineers, Syracuse, New York
 OTT North America, Suwanee, Georgia
 Red Oak Consulting, Fair Lawn, New Jersey
 R. W. Beck, Inc. , San Diego, California
 Science Applications International Corporation, San Diego, California
 Southern Illinois University Edwardsville, Edwardsville, Illinois
 Turblex, Inc. , Springfield, Missouri
 University Of Wyoming, Laramie, Wyoming
 Viola Water North America, Moon Township, Pennsylvania

目 录

第 1 章 能量效率	1
1.1 概述	1
1.2 管理	2
1.3 能量和功率	3
1.4 气候变化	4
1.5 节能措施的确定	6
1.6 节能措施的排序及执行	9
1.7 案例研究	9
第 2 章 公共设施台账记录和激励措施	11
2.1 概述	11
2.2 成本节约方法	11
2.3 电力	12
2.4 电力台账模板	17
2.5 天然气台账	18
第 3 章 电机与变压器	22
3.1 电机效率设计要求	22
3.2 电机特性测量	23
3.3 运行功率	27
3.4 电机类型	27
3.5 电机运行条件	29
3.6 电机与负载的匹配	30
3.7 电机效率标准	30
第 4 章 泵	38
4.1 泵原理	38
4.2 能量原理	42
4.3 节能降耗	45
4.4 出水	45
4.5 扬程	46
4.6 能源的价格	51
4.7 泵的效率	51
4.8 传动效率	52
4.9 电机效率	52
4.10 寿命周期成本计算	52

目 录

4.11 运行和维护 53

4.12 流量计的校准验证 54

第 5 章 可变控制 56

5.1 概述 56

5.2 变量控制的类型 57

5.3 鼓风机和压缩机 67

5.4 泵的运行优化 67

第 6 章 净水厂的能源利用 69

6.1 概述 69

6.2 取水 72

6.3 取水泵和输送 72

6.4 预处理：混凝、絮凝和沉淀 72

6.5 臭味控制 75

6.6 过滤法 80

6.7 消毒 83

6.8 高压给水泵 85

6.9 水厂泥渣管理 86

第 7 章 污水处理厂的能源利用 88

7.1 预处理和初级处理 88

7.2 一级处理 91

7.3 二级处理 92

7.4 消毒 96

7.5 高级污水处理 97

7.6 其他能耗 102

第 8 章 曝气系统 103

8.1 需氧量的决定因素 103

8.2 曝气设备的形式 106

8.3 设计注意事项 108

8.4 运行注意事项 112

8.5 扩散曝气工程案例 118

8.6 机械曝气控制 119

第 9 章 鼓风机 121

9.1 基础知识 121

9.2 容积式鼓风机 129

9.3 多级离心鼓风机 131

9.4 单级离心鼓风机 134

9.5 改进鼓风机系统的可能性 137

第 10 章 污泥处理	140
10.1 概述	140
10.2 厌氧消化工艺	142
10.3 好氧消化	151
10.4 焚烧	153
10.5 干化	158
第 11 章 能源管理	161
11.1 能源管理计划概述	161
11.2 节能设计	163
11.3 可再生资源利用	172
11.4 现场发动机和电力应用	173
11.5 现场发电站	175
11.6 融资方案	179
11.7 能源需求概况	183
附录 A 英制单位与公制单位之间的转换公式	185
附录 B 污水处理中的电能消耗	186
附录 C 电气基础	189
参考文献	191

第1章 能 量 效 率

1.1 概述

本手册重点介绍能源及其如何在城市净水厂和污水处理厂的应用。有关净水厂和污水处理厂泵站方面的内容也适用于处理厂之外的原水泵站、特殊服务泵、增压泵以及污水提升泵等。

净水厂和污水处理厂是市政设施中典型的能源消耗大户之一（加利福尼亚州能源委员会，1990），其能耗占市政府能耗的30%~60%（美国环境保护局，2008），占全国能量消耗的3%~4%。

在水处理厂运行费用中，能源消耗是一项非常大的费用，要占大型污水处理厂运行维护费用的15%~30%，在小型污水处理厂要占到30%~40%。同时由于燃料费用上涨、通货膨胀以及因污水排放标准提高而采用耗能处理工艺等原因，运行水处理设施的能量费用还将继续上涨。

高科技为水处理厂提高能源效率及应用新的节能措施提供了新的机会。节能措施定义如下：通过更新设备、水厂运行或者设备维护等实践手段来降低市政公用事业的运行费用。本手册详尽论述各种节能措施，并将讨论一些设备或工艺在特殊项目方面的节能措施。

本手册包括能量的一些基本概念，并将描述在净水厂及污水处理厂普遍存在的运行及单元工艺中需求能量的技术基础。大量的能源也用于与建筑物及构筑物相关的设备，比如照明、供热及通风等。这些主题已涵盖于节能的参考书目中，部分书目列于本章结尾的“建议阅读”部分。

本手册的主要目的是作为一本初级读本，为净水厂及污水处理厂控制能源消耗及节省能量费用提供有用的建议。同时，也可管理者、水厂工程师以及高级运行工提供基础知识，以很好地理解能量的概念及高效的利用能量，从而更好地管理能量的消耗和需求。本手册还有助于设计工程师选择能效高的设备及工艺。

每一章都将讨论能源需求的基本原理和概念以及低效能的可能来源。背景信息将有助于在设计新水厂时选择节能设备或为已建工艺选择替代设备。

第1章 能源效率。本章为本手册的总介绍，包括描述能量的形式及来源等基本技术概念。本章也包括能量和气候变化之间关系的讨论。

第2章 公共设施台账记录和激励措施。本章描述公用事业公司如何为其服务付费及公用事业费各部分的详细组成，重点阐述了能源的整体费用并以浅显易懂的方式解释了费率的结构组成。

第3章 电机与变压器。本章讲述电机的种类、电机与负荷相匹配的重要性以及重视使用高效电机。

第1章 能 量 效 率

第4章 泵。本章讲述与水泵能力相关的原理，确定水泵所消耗的能量以及影响电耗的因素。

第5章 变量控制。本章讲述控制的种类、变频驱动及其应用中的考虑因素以及控制水泵和鼓风机应考虑的因素。

第6章 净水厂的能源利用。本章讨论净水厂的耗电设备和系统，比如电机、水泵、膜和紫外消毒系统等。

第7章 污水处理厂的能源利用。本章讨论污水处理厂的耗电设备和系统，比如电机、水泵和曝气系统等。

第8章 曝气系统。本章讲述如何确定氧的需求，充氧设备的类型，影响设计和氧转移效率的因素，运行中的考虑以及节能。

第9章 鼓风机。本章讲述鼓风机对整个污水处理厂电耗的重要性，鼓风机应用中的考虑，容积式风机运行中的因素，离心风机的运行原理及改进等。

第10章 污泥处理。本章讲述污泥处理工艺，讨论从污泥厌氧消化系统中获得能源以及在污泥干化和焚烧过程中能量损失的控制。

第11章 能源管理。本章讲述控制电力需求的方式，例如，如何通过更好地理解能源消耗、公用事业费率结构以及有效的能量管理来降低成本；强调为了宏观经济而使用可替代能源的方式；也列出了一些例子来说明如何比较初期投资和由于设备效率不同而造成运行费用变化之间的差异。

1.2 管理

净水厂的首要责任是保护公众健康，污水处理厂则是满足污水排放要求。不仅如此，净水厂和污水处理厂的管理还包括建立长期目标，并制订相应的计划来完成这些目标。同时还要制订工作指南、招聘和培训员工，以确保水厂的整体运行水平。

应当设定并执行能源管理目标，制定、监督并执行相应的工作程序。管理委员会应领导、推动和支持节能。

1.2.1 监测

没有数据水厂无法进行管理，因此，应采用监控和数据采集（SCADA）系统监测和报告千瓦和焦耳数（千瓦时）以及一些关键指示参数（对水泵是 J/L，对鼓风机是 J/m³），目的是提供与生产相对应的能量需求和消耗的测量值。应当检查能量费率表以确定是否采用峰谷分时电价以及当 SCADA 系统按程序输出报告时如何建立“按需”付费。也可以在一些关键设备上安装电力监测仪器以便于管理人员得到信息，从而可以评估运行策略对公用事业费的影响。

1.2.2 资源

通常在净水厂或污水处理厂都有很多现场资源可以利用。这些资源包括提供设备位置、标高及安装细节等基本信息的工程图纸，这些信息内容对于设定大型电机、估定水泵的总压头以及提供曝气鼓风机的相关信息都是很有价值的。单线图便于了解电机的位置和尺寸；水力流程图便于了解水泵的能量需求；建筑装配图为安装的电机、水泵、鼓风机以及其他设备提供正确的名称标识。此外，运行维护手册中包含一些基本的设计数据并且可以提供一些设计意图及控制逻辑方面的信息。

可以利用运行数据为水厂建立水量及负荷的基准线。生化需氧量及氨氮的每日、每月及每年的平均值可以为曝气量的设定提供所需信息。利用这些数据来计算需氧量的相关方法在第8章（曝气系统）有阐述。

作为信息资源，运行维护手册应当保持不断更新，从而能够记录一座污水处理厂设计或增加的节能设备。例如，如果在一台水泵上安装了变频驱动（AFDs）作为节能措施，运行维护手册就应当为运行者或管理者提供所需的一些细节信息，使操作者知道如何监测系统的能量利用以及如何正确地操作变频驱动（AFDs）装置来减少能量消耗。水泵系统效率在不同运行条件下的数据应当以曲线和图表的形式在手册中体现，并直接与计量表、监控器及计算机上的信息互相联系。运行维护手册应对设计做出解释说明并提供基本的设计标准。运行维护手册还应对运行人员或咨询单位提出和进行的运行改善方案等内容提出及时更新措施。

包括电、燃料、气体及化学药剂等在内的一些能量消耗账单及其他记录应当提供给水厂管理查阅使用，使员工知道哪些是影响能量费用、能耗水平及成本的因素。主要操作人员应当知道总电表及分表的位置并知道如何读表。设备制造商的网页上一般都包括这些电表的技术数据。

美国环境保护局已经出版了污水处理厂节能的相关内容（参见本章末的“建议阅读”部分）。在其建立的可持续水和污水处理设施网站（http://www.epa.gov/waterinfrastructure/bettermanagement_energy.html）上也提供了有用的节能信息。一些州立机构，比如纽约州能源研究和开发署（NYSERDA）、加利福尼亚州能源委员会（CEC）以及威斯康星州的“关注能源”等机构也提供基于多年实践经验的权威的、有价值的信息。此外，也可通过浏览各地公用事业部门的网站以了解相关资源及可利用的基金。

一些专业机构，比如美国水环境联合会（WEF）、水环境研究基金会、美国自来水厂协会、水研究基金会以及能源工程师协会等都有净水厂和污水处理厂节能的相关信息资源。诸如月报、杂志、期刊以及会刊等也都是丰富的信息资源。

附录 A 列出了与能源相关的协会和组织。

1.3 能量和功率

“能量”一词有不同表述。本手册按照物理学的概念将能量定义为能够做功的能力或容量。

能量有许多不同类型。这些不同类型的能量可以分为势能和动能两大类。动能由移动的物体拥有。势能储存或包含在燃油、高位水箱或水库中。势能在释放时可以转化为动能。能量可以由一种形式转化为另一种形式。能量的通常形式有化学能、电能、机械能、热能、辐射能及核能等。化石燃料通过燃烧（化学能）转化成蒸汽（热能）的形式被大众所熟悉。

用于净水和污水处理设施最普遍的能量形式是电能。天然气也常作为锅炉燃料来供暖和提供工艺用热。可以用于水厂的其他形式的能量有燃油、丙烷以及蒸汽。

功率是做功的速率。它是做功的速度或者能量消耗的速度。在公制单位中功率的基本单位是瓦特，它表示每秒产生 1 焦耳（J/s）的能量。在英制单位中，常用马力（1hp=550ft-lb/s）和单位时间英国热单位（Btu/h）来表示功率。要注意瓦特和马力看上去不像

速率单位，但实际上它们是。所有的功率单位都以单位时间所做的功来表示。

发动机或引擎的大小并不是按所做功的总量来定义，而是按其做功的速率来定义。电动机的功率通常以千瓦（马力）来计量，锅炉的功率以瓦特（Btu/h 或锅炉马力=33520Btu/h）来计量，空调的功率也是以瓦特（Btu/h 或冷却吨数=12000Btu/h）来计量。

使用功率乘以使用时间代表总能耗，以焦耳（J）或千焦（kJ）来表示。能耗用作电耗时通常以焦耳 [千瓦时（kWh）] 来计量，用作燃料消耗时以千焦 [英国热单位（Btu）] 来计量。

能量(J)=功率(kW)×时间(h)

能量(hp-h)=功率(hp)×时间(h)

能量(Btu)=功率(Btu/h)×时间(h)

能量(ft-lb)=功率(ft-lb/s)×时间(s)

能量的不同形式和单位转换表

表 1-1

单位	功		热		电	
	Ft-lb	kg-m	Btu	kcal	Hp-h	kWh
ft-lb	1	0.1383	1.286×10^{-3}	3.241×10^{-4}	5.050×10^{-7}	3.766×10^{-7}
kg-m	7.231	1	9.302×10^{-3}	2.343×10^{-3}	3.654×10^{-6}	2.724×10^{-6}
Btu	777.9	107.5	1	0.2520	3.927×10^{-4}	2.928×10^{-4}
kcal	3086	426.8	3.968	1	1.558×10^{-3}	1.162×10^{-3}
hp-h	1.986×10^6	2.737×10^5	2547	641.7	1	0.7457
kWh	2.665×10^6	3.671×10^5	3415	860.5	1.341	1

注：kWh×2.78×10⁻⁷=1J。

在标准温度 [15.56℃ (60°F)] 和压力 [101.56kPa(14.73psia)] 下测定，天然气的热值大约为 37000kJ/m³ (1000Btu/cuft)，其典型的计费单位为 2.8m³ (100cuft)、28m³ (1000cuft 或 10 大卡)、105000kJ (100000Btu，或被称为大卡) 或百万英国热单位 (MMBTU)。

燃油的热值为 3.9×10⁴ kJ/L (140000Btu/gal)，其消耗值按升（加仑）来计量。表 1-1 提供的能量转换系数可将由一种方式测定的能耗转换成其他不同的单位。此外，附录 B 提供了本手册用到的公制单位和英制单位的换算关系。

1.4 气候变化

1.4.1 水环境联盟的气候变化决议

水环境联盟理事会（2006）责成其委员会确定并宣传有助于减少污水处理厂排放温室气体（GHG）的相关信息。在同一个决议中，水环境联盟要求城市污水处理机构要成为社会上降低和减轻气候变化的倡导者。

在污水处理及污泥处理处置的过程中，城市污水处理设施会加剧温室气体排放。本节将简要描述温室气体的组成，列出其排放源的例子，并讨论温室气体和碳足迹的关系。读者还会获得如何计算温室气体排放量的一些相关信息。

1.4.2 温室气体概述

温室气体聚集大气中的热量。一些温室气体的排放属于自然发生，而其他一些则是人类活动的结果。由于人类活动造成的温室气体排放源包括二氧化碳（ CO_2 ）、甲烷（ CH_4 ）、氧化亚氮（ N_2O ）以及氟化物气体等（参见美国环境保护局的气候变化与温室气体网站 <http://www.epa.gov/climatechange/emissions/index.html#proj>）。

燃烧化石燃料可造成二氧化碳进入大气。二氧化碳可被植物吸收后去除（或隔离）。二氧化碳占全球温室气体排放量的 77%（世界资源研究院，2006）。甲烷产生于有机废物的降解，比如产生于城市固体废物填埋场、农业生产、家禽养殖、采矿或碳基燃料的利用等。甲烷占全球温室气体排放量的 14%。氧化亚氮产生于化石燃料的燃烧以及某些农业和工业的生产活动，其占全球温室气体排放量的 8%。氟化物气体属于合成气体，产生于工业生产过程，其占全球温室气体排放量的 1%。

温室气体聚集大气中热量的能力是变化的（世界资源研究院，2006）。每一种气体都有可能使全球变暖，这种潜能是指相对于二氧化碳聚集热量的潜能。因此，通常都是以相当于二氧化碳的排放量或二氧化碳当量（ CO_2e ）的形式来描述温室气体排放量。在特定边界和特定时间段内产生的，以二氧化碳当量计量的温室气体总量被称为碳足迹。

1.4.3 温室气体排放源

尽管不能一一列举，本部分还是要重点讲述温室气体的各种排放源。净水厂和污水处理厂属于用电大户，且大部分用电来自碳基燃料。发电厂排放的二氧化碳和氧化亚氮导致净水厂和污水处理厂的碳足迹增加。

在污水生物处理过程中，有机物氧化为 CO_2 和 H_2O ，这也会造成 CO_2 排放。温室气体的其他来源包括运行备用发电机消耗的燃油以及用来运送污泥的卡车消耗的油料。固体废物的处置也带来与之相关的温室气体排放。

有稳定塘或污泥贮存塘的污水处理厂会因有机废物的降解而排放二氧化碳，也可能排放甲烷。这些都会导致污水处理厂碳足迹的增加。同样，在污泥厌氧消化过程中产生的副产物也会造成温室气体排放，直接产物有 CH_4 和 CO_2 。产生的沼气在火炬点燃或锅炉中燃烧时会产生 CO_2 和 N_2O ，沼气燃烧用于驱动涡轮机或内燃机来发电或拖动水泵或鼓风机时，也会产生 CO_2 和 N_2O 。

污水深度处理需要相对较多的能量，这些能量大部分在化学药剂投加中产生，比如用于化学除磷、去除难降解有机物以及脱盐等。在污水的生物脱氮过程中会形成并排放氧化亚氮。由于氧化亚氮的二氧化碳当量很大，因此这一问题备受关注。膜处理工艺应用于净水厂和污水处理厂很可能会增加水厂的能量强度。为了计算碳足迹，需要考虑在生产和输送这些化学物质过程中所需要的能耗总量。

污水处理厂水泵和鼓风机的运行需要相当大的电耗，在净水厂也占能耗的大部分。节省水泵和鼓风机的电耗，可以大大降低供电部门的发电量，从而可以减少温室气体的排放。对净水厂和污水处理厂中必须要照明的设施，采用最先进的节能照明可以降低能耗。同样的原理可以用于用天然气、电力或丙烷供热的设备。

1.4.4 温室气体排放量的计算

温室气体排放量的计算超出了本手册内容的范围。尽管如此，下面的内容还是能给读者提供一些信息来源，便于进行温室气体排放量的计算。

通常,可以参考联合国政府间气候变化专业委员会(IPCC)制定的国家指南来进行温室气体排放量的计算。IPCC的指南只计算甲烷和氧化亚氮的排放量,并不计算二氧化碳的排放量。

Monteith 等人(2005)用加拿大16座污水处理厂的的实际数据进行评价,提出一种专门针对污水处理行业的温室气体排放量计算程序,并应用到加拿大所有省份的污水处理厂。在北美,污水处理主要采用好氧工艺,因此几位作者得出结论:城市污水处理厂排放的温室气体主要是二氧化碳。

其他信息可以从“温室气体条约倡议”网站(<http://www.ghgprotocol.org/>)上获得,该机构于2008年由世界可持续发展商业委员会和世界资源研究院联合组成。温室气体条约作为一种计算工具,被广泛应用于国际上对温室气体的了解、定量和管理。

另一个基于企业级别的温室气体计算的方法是在美国环境保护局的气候领导网站上(<http://www.epa.gov/climate-leaders>)。该体系在美国应用广泛,它为美国26个地区分配了不同的排放系数,像邮政编码一样将其绘制于每一个地区的地图上。

还有一个信息来源是美国环境保护局的清洁能源网站(<http://www.epa.gov/cleanenergy/energy-resources/refs.html>)。该网站提供了大量的计算工具,以汽车、石油、树木以及住宅等的数量来说明温室气体减排。

电厂在用电高峰时运行,其运行效率最低。关于电厂避峰运行时排放量计算的相关信息可以从“清洁和绿色计算者”网站(<http://www.cleanerandgreener.org/resources/calculators.htm>)上获得。(清洁和绿色是美国威斯康星州麦迪逊市莱昂纳多研究院的一项计划)。

1.5 节能措施的确定

一项节能措施既要减少耗能量,也要减少为所用能量支付的费用,同时还要维持合理的可靠性以满足排放要求。需要注意有一种可能,减少的耗能量并不一定可以按比例降低为能量费用。如,高峰用电费占电费的很大一部分时,节能措施可能不会影响电费。运行人员应当检查电费账单上显示的费率或者设法获得一份电价费率表,当地公用事业部门的网站上通常有这些数据。读者可以参阅第2章的内容以获得进一步的解释。

确定节能措施的一些简单步骤如下:

(1) 了解并熟悉电力公司所采用的能源计费程序。

(2) 分析公用事业费账单并要求获得污水处理厂的每日各时段千瓦和千瓦时数据表。检查高峰用电趋势并寻找节能机会,通过改变可选运行计划表来减少用电需求,比如在用电低谷时启动大功率电动机的设备。要辨别与无功功率和功率因数相关的电费。

(3) 检查整个污水处理厂的历史能耗数据(最好要有36个月以上的数据,至少也要有24个月以上的数据来进行分析),还要检查任何一台可以单独计量设备的能耗数据。

(4) 列出所有重要的耗能设备。以功率最大的设备开始,然后列出基于该设备运行总时间的系数。性能测试可对分析功耗和设备效率提供有用的信息。美国能源工业技术规划部有一个“水泵系统评估工具”软件(<http://www1.eere.energy.gov/industry/best-practices/software.html#psat>),可用该软件来评价原水泵和水处理泵。同样,耗能设备

还应当考虑大型屋顶嵌入式供热、通风和空调（HVAC）设备。

（5）定义现有的过程控制程序。

（6）分析收集到的数据，确定最有可能改进的设备。研究设备并确定潜在的节能措施。

最有效的方法是把寻找节能措施的着眼点放在那些能量消耗最大的设备、设施上去，从而可以挖掘节能的最大潜力。大多数情况下，曝气系统是最大的耗能单元（一般占总能耗的 50% 左右），其次是水泵提升系统。在有些污水处理厂，其他系统会消耗很大比例的能量。一些节能措施，比如采用高效电机等，在节能方面备受关注。下面列出一些需要考虑的节能措施：

（1）对污水处理厂主要电动设备的电路连接和开关、母线及变压器等每年应至少检查 1 次，从而可以采取一些简单的纠正措施，防止设备发生一些严重问题或出现大量的功率损耗。

（2）电动机应当尽可能接近额定电压来运行，因为任何与铭牌上额定数值的偏离都会影响电动机的效率。一般来说，建议电机的线路压降不超过线路电压的 5%。

基准评价是指将污水处理厂的总能耗与已经公布的其他污水处理厂典型的电耗、燃料及化学药剂用量相比较。一个简单但有效的判断方法是确定处理水量的单位能耗，可以用焦耳/立方米（ J/m^3 ）或千瓦时/百万加仑 [$\text{kWh}/(\text{mil} \cdot \text{gal})$] 来表示。表 1-1 总结了美国西部污水处理厂的典型能耗。如表中所示，稳定塘、滴滤池以及生物转盘（RBC）是最节能的污水处理工艺，而活性污泥法及氧化沟工艺的能耗则较高。图 1-1 假定各污水处理厂有进水泵、初沉池及污泥厌氧消化（氧化沟工艺除外），没有出水泵，也没有热电联供。

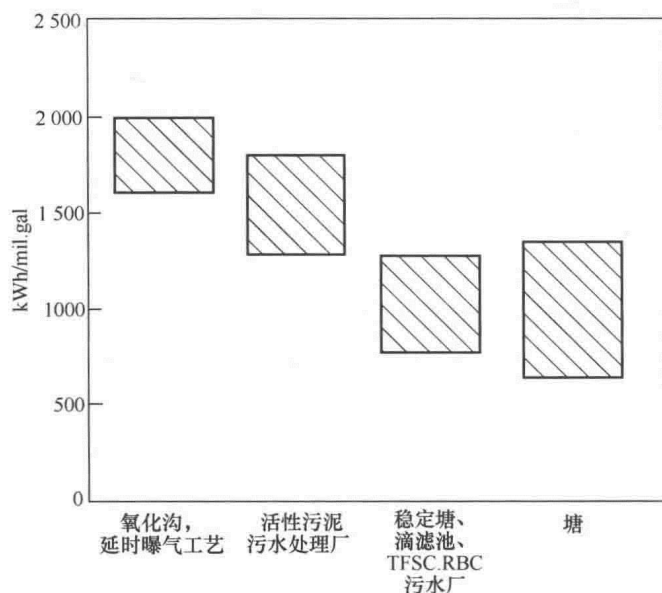


图 1-1 不同类型污水处理厂的典型单位能耗 [$\text{kWh}/(\text{mil} \cdot \text{gal}) \times 951.1 = \text{J}/\text{m}^3$]

（TFSC=滴滤固体接触，RBC=生物转盘）

2007 年 10 月，美国环境保护局的“能量之星”计划最早提出了针对污水处理厂的在