

HANDBOOK OF WATER AND ENERGY MANAGEMENT IN FOOD PROCESSING

食品加工过程 用水和用能管理手册

[匈] Jiří Klemeš

[英] Robin Smith

[英] Jin-Kuk Kim

主编

于秋生

张国农 等译



中国轻工业出版社

全国百佳图书出版单位

食品加工过程用水和用能 管理手册

[匈] Jiří Klemeš [英] Robin Smith [英] Jin-Kuk Kim 主编
于秋生 张国农 等译

 中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

食品加工过程用水和用能管理手册/ (匈) 克利姆斯
(Klemeš, J.), (英) 史密斯 (Smith, R.), (英) 金
(Kim, J. K.) 主编; 于秋生等译. —北京: 中国轻工
业出版社, 2013. 3

ISBN 978-7-5019-9050-4

I. ①食… II. ①克…②史…③金…④于… III. ①食品
工业 - 工业用水 - 用水管理 - 手册②食品工业 - 能源管
理 - 手册 IV. ①F407.82 - 62②X792 - 62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 249534 号

Original English language edition published by Woodhead Publishing Ltd.

Copyright© 2008 Woodhead Publishing Limited

All Rights Reserved Woodhead Publishing Limited

责任编辑: 李亦兵 责任终审: 张乃东 封面设计: 锋尚设计
版式设计: 王超男 责任校对: 燕杰 责任监印: 张可

出版发行: 中国轻工业出版社 (北京东长安街 6 号, 邮编: 100740)

印刷: 北京画中画印刷有限公司

经销: 各地新华书店

版次: 2013 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

开本: 787 × 1092 1/16 印张: 47.75

字数: 1100 千字

书号: ISBN 978-7-5019-9050-4 定价: 128.00 元

著作权合同登记 图字: 01-2009-0625

邮购电话: 010-65241695 传真: 65128352

发行电话: 010-85119835 85119793 传真: 85113293

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

Email: club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请直接与我社邮购联系调换

081397K1X101ZYW

译 者 序

有关全面反映当代食品工厂节水、节能的中文书籍相对较少，许多教学、科研工作者，尤其是企业中从事节水、节能工作的工程技术人员迫切需要内容新颖、实用性强的相关技术书籍。为此，受中国轻工业出版社的委托，我们欣然翻译了本书。

由杰里·克利姆斯、罗宾·史密斯和吉恩-库克·基姆（Jiří Klemeš、Robin Smith、Jin-Kuk Kim）主编的《食品加工过程用水和用能管理手册》（*Handbook of water and energy management in food processing*）于2008年在英国出版发行。作者以深邃广阔的视野、精练严谨的笔触从六个方面分三十五章逐一介绍：

- 一、提高食品加工过程用水和用能管理水平的关键；
- 二、水耗和能耗的评估及降耗的设计策略；
- 三、良好现场管理程序、检测措施和生产控制，以最大限度地节水、节能；
- 四、食品加工、零售和废物处理中的节能方法；
- 五、食品工业中水的再利用和废水处理；
- 六、特殊食品加工行业中用水和用能的最小化。

这些内容是世界食品工程界最新的研究开发成果和良好实际操作经验。书中给出了许多实际的案例分析，对食品科学与工程专业的教学和科研人员、从事有关食品工程方面研究的人员、在食品工厂一线工作的工程技术人员具有指导意义；对提高我国食品工业的科研水平、推动我国食品工业新技术的发展、节水节能、减排降耗、提高产品质量有重要意义。

本书翻译工作分工如下：于秋生译序、第1、2、3、6、8、9、11、13章；张国农译第4、24、30、32、35章；朱熹译第5、12章；谢多健译第7、27章；于森译第10、23章；李才明译第14、33章；赵启昂译第15、19章；赵晨伟译第16、29章；陈静静译第17、18章；冯伟译第20、25章；袁凯译第21、26章；王华川译第22、31章；张刘蕾译第28、34章。全书由于秋生校订。

本书在翻译过程中得到了江南大学高维道教授生前的大力支持，他完成了大量的文字、图表校对工作，我们在此表示衷心感谢并深切缅怀。

鉴于译者水平所限，不当之处恐在所难免，希望广大读者不吝赐教。

译 者

2012年2月于无锡

序

食品加工业在长期保证人类生存所需能量供给的同时,也需要考虑煤炭、石油、天然气这类天然矿物资源的可持续性。在过去的几十年中,全球人口的稳定增长及其营养需求的不断上升,使食品和饮料行业每年的水耗、能耗增长 40%,像中国和印度这样的许多国家,人口急剧上升,导致水和能源的需求急剧增加,成本持续增长。水资源不足在世界许多地方已成为当地经济发展和人民生活质量提高的瓶颈。由于 CO_2 、 NO_x 、 SO_x 、尘埃、炭黑和燃烧排放物剧增,全球人口的增长而导致的能源需求的上升已造成了许多领域不可预测的环境问题。伴随全球经济的高速发展,各国都在增加产量,此时利用新技术以保证生产/加工行业提高能效并使废物排放最小化就显得越发重要。能源及其他环境成本、强制性废水废物排放限制、行政收费和税收从根本上影响着产品的成本。对以上问题的一个潜在解决方案是通过对水耗和能耗的优化,提高加工效率、减少废水和废物的排放。

食品加工领域分布非常广泛,生产旺季仅在特定且有限的时间段内,如制糖工业。此外,食品工业行业很多,且十分依赖小规模的生产加工商,因此伴随着能源价格的上升和节能减排的呼声渐紧,运用有效工艺提高能效将大有可为。适当地利用可提高能源利用率的方法和技术也可达到综合利用可再生资源的目,如在加热和冷却循环中综合利用生物能源、太阳能光伏和太阳能加热。业界要求一方面减少水耗,另一方面减少废水排放,二者并不矛盾。

本书综述了业界最新的研究开发、良好实际操作,并提供了实际的案例分析,主编也鼓励作者为各章附上“更多的信息和建议”,以便读者能进一步深入研究并获得更多信息。

本书分为以下六个部分:

第一部分 提高食品加工过程用水和用能管理水平的关键

第一部分是本书内容的总体介绍,由三章组成:第 1 章法规和经济问题;第 2 章环境保护和经济问题;第 3 章综述了废弃物处理的综合方法。

第 1 章可使读者对现代食品加工操作中成功的用水管理的基本方法有一定的了解,本章以法规和经济标准为基础,围绕工厂现场和公司管理者的可能考量,尤其是与工程相关的问题进行介绍。本章的目的不是给出相关条例章程的列表,也不只是给出基于极少数实际操作而得到的“平均”基准数据,如果这样,那就显得太过平淡了。本章明确了食品加工操作的多样性,阐述了现代法规的基本趋势及其含义,最重要的是阐述了在工程和生产操作的关键过程中执行得越来越多的各种具体操作的要求,这些具体操作的使用频率呈上升趋势。读完第 1 章后,读者应对与单个或多厂址工厂密切相关的标准和管理流程的确定程序有一个基本的了解。本章提供的许多有关建议都是依据简单原理提出的,没有进行深入讨论。但人们总认为复杂的问题应该有复杂的解决方案,所以这些简单原理往往就被忽视了。

第2章说明食品行业的水耗、能耗都很大，因此，有必要提高二者的使用效率，并减少浪费。一般来说，在食品行业中操作流程的改进都有非常大的空间，但不一定能很容易地达到节水、节能的目标，并保持已有的节水、节能水平。在行业内部，必须对从车间操作人员到高级管理者进行教育和培训，且这些教育和培训需要与政府和国际导向具有一致性，并保证执行。有多少食品公司能够做到像保证产品质量和满足客户货期要求那样积极地减少水耗和能耗呢？

第3章通过对食品加工中废水处理复杂方法的综述补充了环境问题，较好地说明了能耗和水耗、废弃物最小化是包括食品工业在内的所有工业的主要环境问题。食品工业的废物流包括废水和固体废弃物，也会产生相对少量的废气。虽然食品工业并不会被视为污染和环境危害的主要来源，但对环境的影响常常是十分严重的，废水中典型的问题包括化学需氧量（COD）及生化需氧量（BOD）高，常常还带有很多的悬浮物（SS），在很多情况下，还含有高浓度的脂肪、油和脂质（FOG）。食品工业产生的大部分废弃物都是可生物降解的，但也需要用综合方法来优化选择废弃物处理工艺，选择时应从技术、经济 and 环境的各个方面综合考虑，并采用最合适的解决方案。这一章的任务是概述在优化和选择食品废弃物处理技术中的决策支持工具和工艺优化工具的可应用技术，本章给出了几个具体实例，描述了具体情况，并给出结论。这些问题作为后续章节的引言综述了食品加工中用水和用能管理的主要特征。

第二部分 水耗和能耗的评估以及降耗的设计策略

第二部分共有七章，介绍了应用于降低水耗和能耗的主要方法学。第4章介绍了如何进行水耗和能耗审计，以及如何理解水耗和能耗审计的主要问题，阐述了如何利用使这些审计来降耗。基于各类食品饮料加工中的水耗和能耗，如果利用合理，可成功地回收15%~30%的投资成本，这是非常吸引人的。总的来讲，食品加工的利润比较低，在减少对环境影响的情况下，水耗和能耗的有效管理将有助于增加净利润。

接下来的几章介绍了食品工业中水耗和能耗最小化的可行方法，供水系统的设计在过去的20年中有了巨大的发展，其中包括水耗及废水排放最小化系统设计概念和方法，第5章描述的工艺集成方法是有长期的成功经验做基础的，从工艺集成的角度来看，在供水网络的设计中有三个主要的设计选择可以考虑：水的再利用、再生水循环和再生水再利用。在各个工业部门都可以看到大量使用这些节水技术的成功案例，其中也包括食品饮料工业。第6章与第5章结构相似，但所论及的是能源使用的最小化问题，主要讨论热集成技术（众所周知的夹点技术），其方法对所有类型的食品工业通用，且易于操作，这两章都提供了实际案例研究。

第7章主要介绍了建模和优化工具，先讨论了用水和再利用水的建模原理和技术，其中也包含了操作的复杂度和时效性，如何来确保模型的适用性和足够的精确性，展示了优化的本质和原理，以及其背后的计算工具，介绍了构建这些优化的供水系统的主要技术，构建和优化模型的方法包括数学编程、优化与随机搜索和供水网络设计P-图。

第8章论及了能源管理方法，能源管理程序的目标之一是对能源情况进行监测、记录、分析、重点检查、改变和控制能源流动，从而保证了能源的可持续性，并使得加工过程中的能效最大化。

第9章讨论了食品饮料行业间歇式和半连续化的工艺用水和用能最小化的问题。近年

来,人们从多角度研究了连续加工过程,结果非常令人满意。相反,采用间歇式加工工艺的行业很少进行用水量最小化的研究工作,虽然间歇加工过程的能源集成方法已有所发展,也考虑了将环境方面的因素整合到非连续化加工过程的设计和优化中,但用水最小化策略的文献报道还是不多,大多数的研究工作仅针对有关问题的局部和特定的情况,间歇加工过程在特定的操作条件下达到其基本工艺要求,但其资源的消耗量则随时间变化,从而使得对过程的研究更加复杂。该资源需求决定于产品生产的顺序及生产计划表,本章介绍了一个成功的应用方法,该方法可用于研究多重污染的情况,代价是计算机的运作费用增加了。但是,有关处理多重污染的简单、真实的方法首先要有一个参照物或者主要的污染物(限制成分),接着在第二步利用感官分析来考虑其他污染物。

第10章介绍了集成设计的概念,展示了食品加工工业中可用于评估车间用水、能源实施情况的系统方法。虽然食品行业的用水和用能管理已有现场管理规则和良好实践指南,但应采用在最低的经济成本和环境成本下,对用水和用能系统可以同步设计和/或优化的一个系统化和集成化的方法,以充分考虑主要资源及其能源效率之间的相互作用。为达到用水和用能最小化的目的,讨论了可用的概念性设计工具及设计准则。本章也描述了部分加工用水需求和与之相关的能源需求的水网络系统的复杂性,需要特别指出的是,运用全局性视角,对全厂用水和用能情况进行综合的调查研究是必要的,而不是针对区域性的、局部的、非集成的方法。

第三部分 用水和用能最小化的良好现场管理程序、检测措施和工艺控制

第三部分对许多工业读者非常有益,前二章论述了良好现场管理措施。第11章介绍了提高工业用水效率的方法,良好的现场管理实践中的花费通常很少,但它对工厂满足食品安全要求和整体的运行效率将产生巨大的影响。在食品加工过程中,对食品产品本身来讲,水通常是作为原料来使用的,设备的清洗,锅炉、冷却塔和泵这类设备的运行以及像厕所和浴室这类辅助设施,水也是必不可少的,像冷却、蒸煮、洗涤、冲洗、漂烫和输送这类食品加工操作,水的使用量通常也是很大的。你若在食品工厂巡视过程中发现脏乱的物品、泄漏、溢漏、长流水、原料废弃物、不必要的返工产品、下水道堵塞、空气泄漏、操作马虎以及无激情或懒散的工作状态等现象,就会意识到良好现场管理的重要性。本章展示了良好现场管理在维护和优化清洗程序以及提高水利用效率方面所起的关键作用,职业健康和安全(OHAS)相关操作,如溢漏和泄漏管理、采用化学品自动定量和(CIP定位清洗)系统,从而减少员工直接接触化学药品的可能性,都有助于降低水耗。

第12章主要专注于能源使用的相关问题,该章比较清楚地论证了不通过有效的现场管理(如旨在降低水耗、职业健康和安全、工厂整洁或清洗的相关现场管理),而分门别类地监测降低能耗是很难的,因为能量流是互连互通,联系复杂,且相互影响的。该章概述的许多良好现场管理措施将有助于食品工厂降低能耗。由于许多现场管理措施很少涉及复杂的管理系统或技术的实施,所以往往被忽视。本章总体概述了如何强化现场管理制度和关注细节,从而达到帮助食品工厂达到能耗最小化的目标。

第13章论述了食品工业中用水和用能的检测和过程控制问题,这一点非常重要,可以将食品工业的用水和用能管理看作一个集成控制的问题,总体的目标可定义为,在保证成本合理并具有竞争力,且产品质量得到严格保障的前提下,使得水耗和能耗最小化。在食品工业中水的用途十分复杂(可作为,例如:产品组分、清洗剂、用于锅炉和冷却目

的传热介质、原料的输送介质和调节剂等),使得水的检测和过程控制更具挑战性。一般来讲,食品工业规范要求水,甚至是清洗用水,也必须要达到饮用水的质量标准。水系统平行操作之间的相互作用和废水处理工厂使得找出综合并有效的解决方案更加复杂。影响食品工业水耗和能耗的最重要的因素是工艺的总体设计,如果食品工艺设计较差,在节水和节能方面,任何一个控制系统功效都会受到严格限制。经验显示,改进方案及合理控制是减少食品工业中水耗的最重要的途径之一。并且,有经验表明,用很少的资本投入,通过简单的培训和操作改进,就可以获得用水量减少 30% 的成果。工艺设计和控制的整合是影响直接控制系统的设计决策,也影响着公用工程控制系统投资和操作成本。在工艺流程、传热和传质的集成以及有效的控制系统中,通过改进设计可有效提高能效及水的利用效率。在新工艺的设计中,此方法很快为设计工程师所接受。在节水和节能方面,通过这种具有重要影响力的设计和控制决策,食品工业可成为获得较大利润的行业。灵活多样的食品加工系统设计可集成高品质、多品种产品生产,这也是未来的发展趋势。只有通过设计和控制的集成才能满足大量的操作、安全、产品质量和环境规范的要求。工业自动化硬件和软件的发展使得食品加工行业在用水和用能管理方面使用数学工具成为可能,并具有经济吸引力。

第 14 章论述了如何完善食品加工中的用水和用能管理。任何一个工业加工过程的用水和用能的优化工作都需要生产系统的综合知识和大量的真实数据,作为回报,该工作将使特定工艺的收益最大化,并成为环保型工艺操作。这些数据包括事故、干扰、故障和失败、创新、市场变化、法律约束和环境约束等,这些都必须收集(检测或模拟)、储存和分析,最后还要转换成具体操作,例如:控制策略、维修管理计划、设计和再设计程序。

“过量”的信息可能会使操作人员混淆,甚至导致无可挽回的失误。在时间紧迫的情况下更是如此,如设备故障,操作人员一般很难迅速地发现、查明、诊断和纠正错误。智能化操作支持系统通常由在线操作手册、误差诊断、设备维护管理和多媒体人机界面组成。研究成功的过程操作支持系统、故障诊断专家系统、智能检测系统和以专业知识为基础的维护系统已有报道,并应用于化工、电力装置和机械系统。在过去的 10 年中,开发智能检测和操作支持系统过程中所开发的许多不同方法已得到了应用。通过组合和集成各种方法来补偿采用单一方法的限制,可获得最佳结果,本章给出了可行的解决方案。

第四部分 食品加工、零售和废弃物处理中的节能方法

第四部分详细论述了食品行业各具体领域中的节能方案。第 15 章概述了食品行业优化低温贮藏、冻藏期间制冷系统操作的现状和未来选择。食品加工中用于制冷的能耗占了很大比例,相对于依赖硬件初始投资的传统方法,优化制冷系统从长远来看对于降低能耗有着巨大的潜力。通过对制冷装置的正确使用和维护,实质性的节能目标是可以达到的。大多数报道表明,通过优化现有的设备,达到节能 20% 的目标是可能的。本章论证了通过加热冷却系统的组合,以及热量回收,提供几乎无任何成本的热水、蒸汽或食品加热的可行性,并列举了几个详细的案例。

第 16 章论述了干燥、烘焙和蒸发浓缩相关的能耗最小化的问题。本章所论及的所有加工过程都属于高能耗的单元操作,它们中的某些操作,例如,干燥和烘焙,由于这些单元操作仍然是能效较低,最小化这些单元操作的机会点是比较大的。常规的方法在本书的某些具体章节已有论述:能源审计、监测和控制、热泵使用、原料预处理、合理保温等。

有些特别的方法,可以也应该得到实践,蒸发过程(浓缩、蒸馏和结晶)就存在着较大的节能潜力,尤其是二次蒸汽(多效蒸发现象)的再利用,潜力更大。

第17章论述了罐藏食品的生产领域的相关问题,食用罐藏灭菌食品历史悠久,而且很可能继续流行,由于其食用方便,且贮藏期很长。罐藏基本原理从开始应用于生产以来一直没有明显变化。仍然是先将食品装入密封容器中,再用足以破坏微生物的加热灭菌。但是,本章介绍了几个在节能和成本节约方面的最近最新研究进展,有的是在同一个杀菌锅中,用新型包装系统进行不同批量产品的同步加工,有的用新型柔韧的和半刚性容器包装产品和加工,有的采用多功能、无管道的间歇式生产工艺,在这些间歇式生产过程中,物料装填在可移动的容器中,且在车间现场管理可自动定位。

第18章介绍了食品工业热能回收的相关问题,热回收已成为食品工业(有时称为食品和饮料工业)单元操作的一个特征,这种情况至少已持续了一个世纪。本章旨在帮助行业内的工程师运用换热器或热泵识别废热回收(WHR)的机会点,若废热回收可行,在评估如何使用这类潜在能源之前,需通过关注具有废热源的单元操作来实现废热回收。如果通过比较简易的改进,对提高单元操作的能效无实质效果,那热回收就是最后的一张王牌。要想说服使用者使用废热回收,最佳途径是凭成功的案例说话,并证明这是实现成本节约的一个最有效方法。因此,在推介最后的“检查表”之前,本章列举了大量研究案例,其中一个采用换热器,另一个采用热泵,还有许多案例用表格形式表达。

结垢对换热器的运行有害,并影响传热和压力降。在食品工业中,当使用工业用水或河水作冷却剂时,就会在物料侧或冷却水侧结垢。紧凑型 and 强化型的换热器在行业中应用广泛,在各种操作条件下,包括运行非牛顿流体,其优良的清洁维护能力是众所周知的。

第19章介绍了换热器的基本结垢机理及其对换热器设计的影响,介绍了管式和板式换热器结垢的情况,具体介绍了乳品工业和制糖工业中紧凑型 and 强化型换热器的应用。

第20章论述了如何在食品零售过程中减少制冷能耗和对环境的影响,零售食品的贮藏要消耗大量的能源,在工业化国家要消耗总电能的3%~5%。根据贮藏形式、当地气候、销售形式和所用设备,在工业化国家,贮藏零售食品消耗的电能在1000~1400kWh/m²,80%以上的耗能是电能,所消耗电能的40%~50%用于在贮藏过程中驱动制冷设备,冷冻冷藏是可行的节能机会点。零售食品店对大量的制冷剂散发到环境中是有责任的,每年散发到环境中的制冷剂占制冷剂使用总量的10%~30%。本章论述了如何在零售食品店降低制冷系统能耗和减少环境影响的最新方法,并辨别出可获得最大收益的领域。

第21章论述的重点是如何使食品废料脱水,由于减少了体积和质量,废料的水分含量越低,运输成本就越低。本章讨论了如何采用脱水技术对食品废料进行脱水的相关问题,水分含量的减少使得废料的管理更灵活、保存期更长,并有利于废料的再利用,一般的脱水工艺采用机械分离法,例如,筛滤、螺杆挤压、带式挤压、真空过滤和离心分离,以上分离方法也可与诸如电场、超声波、振动、化学处理等结合,用于去除水分。合理地选择脱水工艺需要考虑多种因素,例如,废料的种类和数量、脱水后的/干燥固体的最终用途以及环境和经济相关的问题。

第五部分 食品工业过程水的再利用和废水处理

第五部分共有七章,上文讨论了能耗及其最小化的相关问题,这一部分讨论了工业用水的相关问题。第22章论述了水源的准备和给水的供应及其预处理,成功的食品和饮料

加工需要稳定供应高品质工业用水和适当的废水处理。许多情况下，终产品品质出现问题并不都是原料的原因，而是给水水质发生了变化。此外，除了水质要求外，如何使给水的成本处于合理范围也是本行业需要考虑的问题。水源对食品质量和饮料生产是至关重要的，能否大量获得高品质的水源对食品安全及其生产极其重要。水可以污染食品：可能因使用被原生动物和病毒污染的水源而影响产品的质量，食品工业用水必须符合安全饮用水标准。在食品生产中，水的微生物指标至为重要，不控制其中的微生物生长可能带来潜在危害，尤其是温水和冷却循环水。因此，为了去除有毒有害物质，食品工业用水必须进行预处理。为保证食品工业用水的供应，有许多需要考虑的地方，包括供水设施的设计、施工和操作。

第 23 章讨论了如何降低食品和饮料工业耗水量的相关问题，并论及了近几年广受关注的工业用水再循环利用的可行方法，水再循环涉及了包括经过一次使用过的水的处理、贮存和分配的全部生产作业活动。术语“再循环水”基本是指处理过的有利用价值的废水，如果废水的污染程度在可接受的范围内，不影响二次使用，“再循环水”也可指未处理的废水。可使用的其他术语有“再生水”或“再生废水”。本章主要讨论了食品和饮料加工行业水再循环利用的基本概念和相关问题，包括水的纯净度标准、食品工厂节水和再循环利用机会点。本章内容包括食品加工厂用水、水的再循环技术、水纯净度标准、水的再循环机会点、节水措施、水循环方案设计、水再循环优缺点，并提供了案例分析。

第 24 章讨论了膜技术，采用膜技术的目的是生产无病毒及微生物污染的生产用水，该技术逐渐被广泛运用，能源和膜的成本仍然很大，但通过运用新方法可降低成本，在运用此新方法时，膜本身要比较便宜，通过亚临界通量操作可减少结垢。使用较好的膜可使废水量和污染程度大大降低。在稳定连续生产时，若使用很薄的膜，操作成本也会降低，因为过滤时的跨膜压差比较低。新的高效膜过滤工艺将使得分离操作和废水处理更经济。

下列研究进展提供了最大的潜在机会点：

- 膜层很薄及分布均匀的小孔径膜的制备和筛选；
- 过滤大分子和/或颗粒时可大大减少垢层的带电荷膜或表面带电膜产品；
- pH 可控、离子选择性高分子复合膜的制备；
- 分离效果好的亲和膜和手性膜的制备；
- 新型高效模块的开发；
- 反应中含不溶性物质的膜反应器的应用，以提高膜过滤的性能；
- 开发新的膜技术和混合技术，以提高过滤效率。

第 25 章主要讨论了消毒技术，主要用于解决前几章中论及的废水再利用问题。消毒是杀灭或破坏致病微生物的操作，致病微生物包括病毒、细菌和原生动物。虽然许多一般的废水处理技术都能降低废水中病原菌的浓度，但还是需要通过消毒操作，以确保废水中病原菌浓度处于安全水平之内。随着人口及其用水量的增加，人们接触工业排放废水的概率也大大增加了，为保证人们后续用水的质量必须要对废水进行消毒，后续用水可能包括下游的公共供水或庄稼的灌溉用水。读者也可以选择将处理过的废水在特定工业内部循环再利用，例如，食品工业，本章也提供并评估了现行方法和发展趋势。

第 26 章主要讨论了食品工业废水处理的曝气系统的最新进展，食品工业废水处理采用的是化学、物理和生物三者的综合技术，物理处理方法包括筛分、澄清和过滤，化学处

理方法是由中和、强化絮凝和沉淀组成的,生物处理方法包括需氧和厌氧两种技术,例如,需氧悬浮生长工艺、需氧和厌氧并连生长工艺、需氧和厌氧消化工艺。与厌氧工艺相比,需氧工艺的主要优点是,一般情况下,处理速率较高,能够比较容易地满足废水中溶解氧的调节需求,本章评估了现行的需氧工艺及其成本,最后部分指出了该领域未来的发展趋势。

相反,第27章论述的是从食品工艺废水中去除有机污染物的厌氧系统,厌氧系统被认为是食品工艺废水的一种新兴处理方法。与其他传统的方法相比,厌氧处理的关键特征是可将有有机物质转化为富含沼气的生物能源,此生物能源可作为燃料使用,或用作环保汽车的清洁燃料。厌氧处理有许多方法,包括厌氧塘、完全混合消化池、柱塞流消化池、上流式厌氧污泥床(UASB)、厌氧固定膜反应器(AFFR),本章也指出了各种设计和操作的优势。由于厌氧消化工艺包含了许多步骤和微生物类型,所以,厌氧工艺的建模也是最近研究取得进展的领域之一。已报道的大多数模型讨论了可溶物的动力学,考虑了发酵和产甲烷的步骤。食品生物质产生的食品工艺废水经厌氧工艺产生了大量的甲烷和氢气,这一技术是未来的发展趋势,本章也进行了讨论。

第28章是本部分的最后一章,本章讨论了海产品加工行业。该行业产生的废水中含有的污染物包括可溶物质、胶体和微粒物质,海产品加工行业废水的BOD、FOG和氮含量非常高,废水流中BOD主要来自屠宰过程和一般的清洗过程,最主要的是血液中的氮源,很难归纳出这些废水流所造成的问题的严重性,因为这些影响取决于排放物的浓度、排放速率和废水受体水源的自净能力。然而,在确定废水的特性和评价一个废水处理系统的效率时,必须要考虑关键的污染参数。本章讨论了海产品废水处理过程(如预处理和初级处理、生物处理和物理化学处理)的一些特征参数。

第六部分 特殊食品加工行业的节水和节能

第六部分共有七章。第29章主要讨论有关屠宰场的问题,大型动物的加工操作包括,动物的接收和入栏、屠宰、放血、剥皮和去皮(牛和羊)、热烫和去毛(猪)、外皮处理、去除内脏、分块、切割和去骨、冷却。禽类的宰杀操作包括,禽类接收、击晕、放血、热烫、去毛、去除内脏、冷却和成熟。本章重点讨论用水的屠宰操作中的清洁和冲洗用水,屠宰过程产生的废水其COD/BOD和SS含量高,从能源的角度看,制冷车间耗电最大(占50%~65%),屠宰场的能耗与热水使用量密切相关,各加工步骤需要的水温可能不同,本章以Flemish屠宰场为例进行说明。

第30章介绍了家禽加工行业,主要讨论肉鸡的加工,即为获得鸡肉而饲养的鸡。总体上讲,其他家禽,例如,火鸡、鸭,在处理方式上是类似的。采用热电联产工厂焚烧废物和环保配送中心的措施看上去很复杂,而且又是资金密集型的,可能很难用低利润的家禽加工行业证明其收益,一般来说,还有许多回收期短的节能、节水简易方法可供选择。遗憾的是,工业的水耗数据,特别是耗能的数据十分欠缺,即使是个别车间的专用设备监控数据也不多,要不然就是从仪表获取能耗数据,充其量由分表获取能耗数据以覆盖车间更多区域,这就很难确定需要改进的目标。作者仍然提供了一个建议表,这可能会对工业用户有用。

第31章讨论了谷物加工的相关问题,谷物加工包括谷物组分的分离、增强成分的选择和配料组合的范围、提高可加工性和品质、使最终产品具有独特性,并对消费者有吸引

力，这些都是与淀粉的糊化、产生具有吸引力的质构和风味并提供干燥和稳定货架期产品的热加工结合在一起的。在谷物的初级加工和后续加工中要提升能源和水的利用率，在实践中这些可能会受到一定的限制。粮食加工通常都是干法，或者说所用的任何水分大多都保留在最终产品中，粮食加工操作需在合适的温度下进行，相对比较简单，基本是线性的，热回收有一定限制。粮食加工工业的原料成本大大超过了能源成本，能源成本主要是电能，电能通常不能像热能那样采用同样的方法来回收和再利用。本章主要分析以食品为目的的粮食加工业增强能源和水利用率方面一般和特别的机会点，主要关注粮食加工自身或支撑谷物加工各个行业的能耗和水耗，而不是农业方面和收获后的干燥和贮藏能耗和水耗。混合、热加工和冷却一直是通用操作，它们提供了节能的潜在机会点。玉米的湿法磨浆被认为与传统的化学加工最相似，从而，通过工艺的整合达到节水和节能的目的最容易快速实现。本章最后讨论了谷物加工行业在提高用水和用能效率方面的未来趋势。

第32章分析了制糖工业的情况，近几十年来，用于新建糖厂的投资已非常少了，然而，出于经济和环境因素的考虑，对糖厂进行改造的需求越来越普遍。这将会提高生产效率并成功在行业内利用先进的制糖技术和环保技术。节能是一个重要的问题，因为在某些情况下，燃料成本是占生产成本的百分之几，发电厂燃烧燃料产生的废物排放占了总废物排放的大多数，典型的糖厂改造主要包括工厂能源系统的改进以降低能耗。水和蒸汽通常是能源的载体，改进能源系统就可产生改进供水管理的机会。此外，工厂改造的目标是降低能耗和废水的排放，以更严格地符合环保法规的要求，假如操作人员通过改进热回收降低了能耗，通过优化现行废水处理的排放量，那糖厂改造的策略就可取得一定效益，即可能不投资公用系统而创造出提高工厂效益的机会，通常有几种改造方案可供选择，几种方案的区分是资本成本和操作成本不同，目的是为了保持改造投资成本与所降低的操作成本的平衡，后者具有现实价值。对各种各样的生物制品，特别是对液体燃料的需求上升，使得人们对工业副产品，特别是对生物燃料的关注度有所提升，本章分析了以上内容及其相关问题。

第33章从不同的角度论述了类似的内容，该章讨论了制糖工业的生产操作单元，热加工工艺的所有单元操作都在制糖工业中有所应用，包括闪蒸工艺在内，其思路和案例同样也适合于其他生产工艺。

第34章介绍了软饮料工业（SDI）用水量和废水排放量最小化的当前趋势和发展前景，该行业形成了食品工业中相当大的二级行业，其特征是通过连续化操作来代替间歇式生产，本章在深入探究软饮料工业（SDI）之前，先从间歇式工艺节水的优化入手进行概述，本章以2个案例为基础概述了软饮料工业用水的简明情况，第1个案例研究了南非最大的软饮料经销商的生产设备，第2个案例则是针对日本的一家软饮料工厂进行的研究，两个案例研究都是基于用水的改进，显示了较强的实践意义，它们都是通过合理的设备选择达到改进目标的。

第35章总结了本书，啤酒、葡萄酒和白酒生产商主要关注的是他们所使用的技术对产品质量、成本效益和环境效益来说应该是最佳的，其次对改进现行加工技术的能耗、水耗和废水再生要是最经济的，本章的分析突出了这些行业水耗和废水管理方面已有的和新出现的制约因素，同时对资源耗用问题作了概述，论述了最普遍的处理方法、相关的限制和优点，讨论了用于降低水耗和减少废物排放的可行生化技术。环保技术方面，高效和严

格的环保限制是新构思的基础，可持续性和经济性是关键词。

致谢

编者首先要表达对所有参与这一艰巨项目作者的感激之情，在工作非常繁忙的情况下，该领域的领衔专家完成了这本书。我们真心地感谢他们的奉献精神、及时传递和自愿接受编辑评论和建议，这些编辑评论和建议旨在保证覆盖本书的绝大多数问题，同时避免重复和交叉。最后，也是最重要的，我们要感谢 Woodhead 出版社的员工，是他们给了我们巨大的帮助，我们还要感谢 Sarah Whitworth 女士和 Lynsey Gathercole 夫人，能和你们在一起工作我们非常高兴。

Jiří Kleměš
Robin Smith
Jin – Kuk Kim



第一部分 提高食品加工过程用水和用能管理水平的关键 1

1 食品加工过程用水和用能管理的法规和经济效益问题	3
1.1 引言	3
1.2 立法趋势和概况	6
1.3 经济杠杆是实施经营的一个选择	14
1.4 立法和经济杠杆对经营管理的意义	14
1.5 锅炉管理方面的问题	16
1.6 废水处理和再利用项目经济性评价的一般程序	17
1.7 总结	19
1.8 更多的信息和建议	19
参考文献	19
2 食品加工过程用水和用能管理的环保及消费问题	21
2.1 引言	21
2.2 食品加工过程用水和用能的规模	21
2.3 食品企业的财务成本	24
2.4 环境影响和成本	25
2.5 未来趋势	28
2.6 更多的信息和建议	31
参考文献	31
3 食品加工过程废弃物处理的复杂方法	33
3.1 引言	33
3.2 食品加工过程的废弃物	33
3.3 食品废弃物处理途径	36
3.4 废弃物处理技术的选择	40
3.5 有效途径的举例	43
3.6 生命周期分析	51
3.7 未来趋势	54
3.8 结论	56
3.9 更多的信息和建议	56
参考文献	57

第二部分 水耗和能耗的评估以及降耗的设计策略	59
4 食品工业能源审计和水审计	61
4.1 能源审计和水审计概述	61
4.2 工艺流程方块图和用能、用水清单	64
4.3 确定节水和节能的机会	67
4.4 成本收益分析	74
4.5 结论	77
4.6 更多的信息和建议	78
参考文献	78
5 食品加工过程用水量最小化的方法	81
5.1 引言	81
5.2 用水量最小化	82
5.3 水再利用和循环	87
5.4 改进工艺减少用水	89
5.5 在食品工业过程的应用	90
5.6 总结	94
5.7 更多的信息和建议	95
参考文献	96
6 食品加工过程的节能方法	98
6.1 引言：食品加工过程的用能	98
6.2 食品加工过程的节能	104
6.3 节能和最小化用能：工艺集成/夹点技术、热电组合、最小化用能和用水组合	105
6.4 选定个案研究的概述	112
6.5 应用夹点技术和热集成技术节能的个案研究和范例	113
6.6 进一步的研究	138
6.7 更多的信息和建议	141
参考文献	143
7 食品工业用水量最小化的建模和优化工具	147
7.1 引言	147
7.2 模型建立和优化的构架	147
7.3 优化：意义和数学方程	148
7.4 创建模型	149
7.5 实例：工业案例分析概述	157
7.6 更多的信息和建议	158
参考文献	160

8 食品工业的能源管理方法	162
8.1 引言	162
8.2 自上而下法：从账单付费到生产	165
8.3 自下而上法：从高效生产到账单付费	173
8.4 评价节能选项	179
8.5 结论	181
8.6 未来趋势	182
8.7 更多的信息和建议	182
8.8 致谢	182
参考文献	182
9 食品和饮料工业间歇式和半连续化操作的用水和用能最小化	185
9.1 引言	185
9.2 用水最小化的方法	186
9.3 基本建模框架	188
9.4 数学公式	188
9.5 热量集成机会	196
9.6 模型求解	197
9.7 模型优化	197
9.8 软件原型	198
9.9 工业应用	199
9.10 最终考虑和未来趋势	211
9.11 命名	213
9.12 更多的信息和建议	216
9.13 致谢	216
参考文献	217
10 食品工业过程组合节能和节水的新型方法	219
10.1 引言	219
10.2 用能和用水同时最小化的文献综述	221
10.3 概念性理解和物理角度	223
10.4 设计方法	227
10.5 总结	234
10.6 更多的信息和建议	235
参考文献	236
第三部分 用水和用能最小化的良好现场管理程序、检测措施和工艺控制	241
11 提高食品工厂用水效率的良好现场管理程序	243
11.1 前言	243

11.2	良好的管理规范	246
11.3	监测水的使用	247
11.4	清洗	249
11.5	设施	257
11.6	辅助设施	259
11.7	单元操作	259
11.8	食品加工的趋势	261
11.9	更多的信息和建议	262
	参考文献	264
12	降低食品加工厂能耗的现场管理方法	267
12.1	引言	267
12.2	降低清洁要求以节能	267
12.3	减少浪费以节能	269
12.4	操作装置的维护和监控以节能	270
12.5	未来趋势	277
12.6	更多的信息和建议	278
	参考文献	280
13	食品工业用水和用能的检测和工艺控制	282
13.1	引言	282
13.2	食品工业常用的测量方法和传感器	283
13.3	食品工业用水和用能的过程控制	287
13.4	系统集成	294
13.5	结论和未来趋势——更多的信息和建议	300
	参考文献	301
14	优化用水和用能的监测和智能支持系统	305
14.1	引言	305
14.2	支持工艺操作的智能系统	306
14.3	诊断	307
14.4	良好控制的监测	307
14.5	基于智能体的监测	308
14.6	与供应链管理相连接	309
14.7	与生命周期管理相连接	309
14.8	监测与分析	310
14.9	提高节能效率的监测和预测	312
14.10	趋势	314
14.11	决策制定的监测和智能支持的应用	315
14.12	最佳用能和用水的监控	315
14.13	各种资源与财务综合管理的介绍	317
14.14	结束语	321