

[美] James G. Mann Y. A. Liu(刘裔安) 著

工业用水节约

与

废水减量

Industrial Water Reuse and  
Wastewater Minimization

姚平经 华 贲 项曙光 杨友麒 等译  
姚平经 审校

中国石化出版社

# 工业用水节约与废水减量

[美]James G. Mann Y. A. Liu (刘裔安) 著

姚平经 华 贲 项曙光 杨友麒 等译

姚平经 审校

中国石化出版社

## 内 容 提 要

本书汇总了近年来水夹点技术的研究、应用成果,通过对基本原理进行详尽的理论剖析与实际应用的逐步指导相结合,使读者明白如何在生产过程中进行用水系统和废水系统的分析、综合和改造,实现工业水最大程度地回用和降低废水产生,并使废水处理费用最小化。本书包括了概念开发、软件实施和工业应用三大部分,书中列举了大量的工业应用实例和习题,并配备有《用水设计》软件包。

本书系统地对水夹点技术进行了明确的阐述,理论联系实际,它不仅是工程技术人员学习和应用水夹点技术的参考书,也是化工、土木和环境工程专业学生很好的环境保护工程教材。

### Industrial Water Reuse and Wastewater Minimization

by James G. Mann/Y. A. Liu

Original edition copyright (1999) by The McGraw - Hill Companies, Inc. All rights reserved.

中文版权(2001)为中国石化出版社所有。版权所有,不得翻印。

### 图书在版编目(CIP)数据

工业用水节约与废水减量/(美)曼(Mann J. G.),  
(美)刘裔安(Liu Y. A.)著;姚平经等译.

—北京:中国石化出版社,2001

书名原文:Industrial Water Reuse and Wastewater Minimization

ISBN 7-80164-160-4

I.工… II.①曼…②刘…③姚… III.①工业用水-节约用水  
②工业废水-废水处理 IV.TU991.64②X703

著作权合同登记 图字:01—2001—0325号

### 中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84289972

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com.cn

北京精美实华图文制作中心排版

海丰印刷厂印刷

新华书店北京发行所经销

\*

787×1092 毫米 16 开本 29.75 印张 755 千字

2001 年 12 月第 1 版 2001 年 12 月第 1 次印刷

定价:70.00 元(含光盘)

# 序 一

水是地球的血液,是人类生存的命脉,是一种不可替代的自然资源。世界水资源的分布极不平衡,65%的水资源集中在不到 10 个国家里,而占世界总人口 40% 的 80 个国家却严重缺水。中国是一个缺水严重的国家,大部分陆地疆域地处北半球中纬地带,受季风气候影响,水资源时空分布的问题十分突出,全国有 45% 的国土处在降水量少于 400 毫米的干旱缺水地带,且降水集中在 6~9 月,占全年降水量的 70%~90%,因此水资源的 70% 以上是由暂时性淡水组成。据统计,现在每年每人平均水资源量仅为 2300~2400 立方米,是世界人均水平的 1/4,是世界上最贫水的 13 个国家之一。全国 669 个大中城市有 400 个常年淡水不足,其中严重缺水的城市 110 个,日缺水量 1600 万立方米,年缺水量是 60 亿立方米。由于缺水,每年影响工业产值 2000 多亿元,天津、长春、大连、青岛、唐山和烟台等城市已受到水资源短缺的严重威胁。据水利部《21 世纪中国水资源供求分析报告》中预测,2010 年我国工业、农业、生活及生态环境总需水量在中等干旱年为 6988 亿立方米(其中生活用水 953 亿立方米,工业用水 1560 亿立方米,农田灌溉用水 3982 亿立方米,林牧渔业用水 493 亿立方米),但供水总量 6670 亿立方米,缺水 318 亿立方米。2030 年总需水量 7800~8200 亿立方米,总供水为 7400~7700 亿立方米,缺水 400~500 亿立方米。面对我们严重缺水的局面,审视当前,放眼未来,要实现我国社会经济可持续发展,研究占我国用水总量近 1/4 的工业用水的节约与废水减量技术具有特别重要的意义。

英国曼彻斯特理工学院(UMIST)的 Y.P.Wang 和 Robin Smith 于 1994 年首次提出水夹点技术,将 20 世纪 90 年代得到极大发展的过程集成技术应用于废水产生量最小化和废水处理系统设计之中。1994~1995 年间,设在英国威尔士的孟山都公司的工厂首次开发使用水夹点技术,使新鲜水的消耗降低 30%,新建的废水处理设施的投资从 1500 万美元降低到 350 万美元,并使每年的操作费用和原材料成本降低了 100 万美元。从此,水夹点技术得到了快速的发展,被越来越多

地应用于商业和研究之中。美国弗吉尼亚理工学院暨州立大学化学工程系教授刘裔安先生和他的一位在水夹点技术方面取得累累硕果的学生 James G. Mann 博士，极其敏锐地认识到水夹点技术的实用价值和推动社会经济发展的重大意义，撰写了《Industrial Water Reuse and Wastewater Minimization》一书，成为首本向广大化学工程师、土木工程师和环境工程师系统介绍水夹点技术(Water - Pinch Technology)的专著，1999 年底由全球理工行业著名出版商 McGraw - Hill 在美国出版发行。这本书汇总近年来水夹点技术的研究应用成果，通过对基本原理进行详尽的理论剖析与实际应用的逐步指导相结合，使读者明白如何在生产过程中进行用水系统和废水系统的分析、综合和改造，实现工业水最大程度地回用和降低废水产生，并使废水处理费用最小化。本书包括了概念开发、软件实施和工业应用三大部分，是很好的工科学生教材和工业技术人员的自学教材。特别值得提出的是，本书列举了大量的例题与分析 and 未公开的工业应用实例，并提供了该领域研究应用的最新进展。另外，本书还配备了《用水设计》的软件包，该软件包提供了应用水夹点技术所必须的多种任务、方案，利用该软件包可以容易地建立必要的图表，以确定最小新鲜水流量目标和进行用水网络初步设计。

2000 年 6 月，刘裔安先生来北京讲学，我和他商量，希望能把他和 James G. Mann 合著的《Industrial Water Reuse and Wastewater Minimization》一书译成中文，在中国出版，刘裔安先生当即同意，而且承诺版权费用由他负责。从那时起，姚平经、华贵、项曙光和杨友麒等教授和他们的学生们承接了该书中文稿的翻译任务。为确保译文能准确表达作者的意愿，刘裔安先生又对全书中文稿进行了认真修改。现这本书的中文译本《工业用水节约与废水减量》正式出版，和大家见面了。这本书中译本的出版过程充分体现了刘裔安先生——一位华裔学者的爱国之心，报国之情。我衷心希望该书能得到现在和未来的中国化学工程师、土木工程师和环境工程师的欢迎，成为大家喜爱的自学教材、从事节约工业用水与废水减量工作的有重要参考价值的工具书。

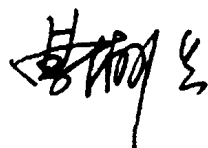
石化工业是工业用水的大户，更是废水排放的大户。据统计，石化系统所属企业 2000 年工业用新鲜水总量占全国工业用水 1157 亿立方米的 1.4%，工业废水排放量约占全国工业废水排放量的 4.8%，废水排放的比例远高于新鲜水用

量的比例，说明石化系统水重复利用水平低，污水处理回用率不高。和国际水平相比，炼油工业加工每吨原油耗水比国际一般水平高出 2~4 倍，加工每吨原油排放污水也远高于国际水平。炼油石化工业节约用水，减少废水排放的任务繁重，但潜力也很大。《工业用水节约与废水减量》一书中介绍的水夹点技术适用于各个过程工业，但书中介绍的应用成果实例中有很多是取自炼油和化工工业过程用的。中国石化出版社承担本书的出版发行工作，尤其希望该书能在中国石化系统得到欢迎。我希望石化系统的领导干部能抽时间阅读本书，知道本书介绍的水夹点技术的价值，要求工程技术人员应用这项技术，做好节约用水、废水减排工作；希望广大工程技术人员认真阅读本书，通过阅读，弄懂水夹点技术的基本原理，熟练掌握并能应用这项技术，把新鲜水用量、废水排放量尽快降下来，缩小和国际水平的差距，力争赶上并达到国际水平。

刘裔安先生在请我为该书作序的信中表示，“目前国内过程工业普遍面临缺水的挑战，盼望本书能帮助国内引进最新工业用水节约与废水产生量最小化技术”。我相信，该书的出版一定能为我们过程工业系统送来涓涓不断的“长流水”。

中国工程院院士

中国石油化工股份公司副总裁



2001 年 9 月 1 日

## 序 二

随着世界人口的不断增长和工业的继续发展，水将成为短缺资源。工业用水节约与废水减量已成为人类持续发展的重要前提之一。过程工业(包括化学、石油化工、炼油、制药、造纸、冶金、电力、某些食品、消费品的生产)为用水大户，承担着不可推卸的责任。特别在我国，社会经济的发展带来了缺水、水源污染的副作用。对此现状，面向未来，除了提高工业意识、国民素质、加强法制外，更需要诉诸于可行的工业用水节约与废水减量的方法。

本书采用过程集成的方法来处理用水工艺。过程集成指的是定位于系统角度，基于热力学方法以及集成的方法用于过程装置的分析、综合和改造。将过程集成技术应用于工业用水节约与废水减量是 90 年代中期的发展。首先需确定一个称为“水夹点”，所指的是水中某关键杂质的浓度。所含杂质水平在夹点之上的该股不需要用新鲜水，而可回用过程中其它现有水流股。采用这种原则，可使工业水回用最大化，使废水产生量最小化。

工业水回用和废水量最小化的策略具有三个目标：

- 减少新鲜水消耗，在全厂范围内找回用水源；
- 减少废水流量和污水排放量；
- 零排放——这是最终、也可称为理想目标。

水夹点技术包括：

- 水夹点分析：预先识别在用水操作中最小新鲜水消耗量和最少废水生产量目标；

- 水夹点综合：设计一个用水网络，通过水回用、再生和循环以达到上述目标；

- 水夹点改造：通过有效的工艺改变，改造现有的用水网络以达到最大限度地回用水和最小程度地产生废水。

水夹点技术，从概念上说是质量交换集成，包括从用水操作中传递杂质到

水流中。代表用水操作中杂质质量交换的一个简单的和实际的模型是富杂质过程流股和贫杂质过程流股的逆流接触操作。这一模型提供了用于分析、综合和改造用水操作的概念性框架，包括水的回用、再生、循环、工艺变化、多杂质和分布式废水处理。

作者自序和第一章导论以及图 1.13 概述了本书的内容。第九章叙述了数学优化进行废水量最小化方法，包括线性规划、非线性规划和超结构模型。附录包括了用水设计软件及 CD 盘。

本书作者为弗吉尼亚理工学院暨州立大学，即 Virginia Polytechnic Institute and State University 或 VPISU 的刘裔安教授和他的学生 James G. Mann。刘裔安为 VPISU 的化工学座教授(Frank Vilbrandt Professor in Chemical Engineering)。他于 1946 年出生于澳门，1967 年台湾大学获学士学位，1970 年美国 Tufts 大学硕士，1974 年美国 Princeton 大学博士。他获有多种科研、学术奖和荣誉，包括 1990 年的西屋工程教育卓越成就奖(American Society for Engineering Education, George Westinghouse Award)，他是 55 年来首位得奖的亚裔学者；1993 年的设计奖(American Society for Engineering Education, Fred Merryfield Design Award)；2000 年弗吉尼亚州最杰出教授奖。刘裔安教授著作众多，包括 6 本专著，其中 3 本与他的学生共撰：除本书外还有，与 Quantrille 共撰的《人工智能在化工中的应用》(Artificial intelligence in chemical engineering) 和与 Baughman 共撰的《神经网络在生物过程与化学工程的应用》(Neural Networks in Bioprocessing and Chemical Engineering)。刘裔安教授的学座起名人 Frank Vilbrandt 是 VPISU 的早年教授，是撰写化工工厂设计教材，Chemical Engineering Plant Design, McGraw - Hill, 的创始人，第一版出版于 1934 年，1949 年出版的第三版的突出内容是第九章的流程图。刘裔安教授共撰的这三本书显然将 VPISU 的早期化工工厂设计特色提高到了新的、现代化的水平。

刘裔安教授对他讲学内容首先追求全面理解，在讲课前必备系统的书面讲义，在讲解时语言简洁，生动活泼，经常与学员对答。他可毫不疲惫地一天讲 6、7 个小时，能在 1、2 天内传授一门速成课程。每当完成专题讲授后，他在学员中分发问卷，询问各人的意见和心得，然后汇总成册，撰写教授总结。

刘裔安教授首次于 1992 来科学院化工冶金研究所讲学，继此在化工系统和

石化系统中开工程师培训班，平均每年来一次。对于本书的内容，他于1995年和1996年在台北，1996年在北京、广州等地，多次举行培训班。对刘裔安教授在科技发展和石油化工中培训工程师方面的贡献，2000年国务院于北京授给他“国家友谊奖”。

除了上述内涵，本书体现了刘裔安教授传授学问的风格，值得从事过程工业中各行各业的专业人员自学或参考。

中国科学院院士

郭慕孙

2001年9月3日

## 序 三

刘裔安教授和 James G. Mann 博士的专著《工业用水节约与废水减量》即将出版，是一件值得高兴的事。本书的英文版《Industrial Water Reuse and Wastewater Minimization》于 1999 年年底由 McGraw-Hill 公司在美国出版，现在刘裔安教授又及时推出了中译版将更便于国内读者阅读。

在各种工业中，过程工业是用水大户同时也就是有害污水排放大户。因此，优化用水和减少污水排放既是现有过程工业改造的当务之急也是今后发展的方向。当然也是化学工程科技工作者们在科研、教学和生产建设中的前沿课题。《工业用水节约与废水减量》是针对处理这一课题的专著。书中详细论述了“水夹点技术”对工业用水和废水生产量最小化系统规划的原理和应用。联系应用实例阐明“水夹点技术”的基本原理及其实施应用以及最新的研究和应用进展。内容翔实、新颖、实用，是一本杰出的教材和参考书。本书中文版的推出将能很好地帮助我国的化学工程科技工作者推动和实现“绿色化工”的建设。

刘裔安教授是著名的华裔学者，他在人工智能和计算机辅助设计领域工程及教学中的成就曾在美国多次获奖。从 1992 年以来他不辞辛苦，远渡重洋，每年来国内义务为石化企业进行培训工作，做出了很大奉献。英文版的《Industrial Water Reuse and Wastewater Minimization》是他与他的合作者在多年科研和教学成就基础上的专著。现在又由刘教授亲自主持推出中文版由中石化出版社出版，是刘教授对祖国的又一贡献。

向本书的作者和出版社致谢。

清华大学教授  
中国科学院院士  
汪家鼎  
2001 年 9 月

# 作者序言

水夹点技术是 20 世纪 90 年代中期开发出来的, 是进行工业水回用、废水量最小化和废水处理系统设计的一种重要的新方法。它为化学工程师、土木工程师和环境工程师们提供了在设计和操作之前, 进行用水过程分析, 以及设计之后的新鲜水消耗量和废水产生量最小化的工具。特别是水夹点技术提供了确定以下几个方面的系统分析工具:

- 新鲜水消耗的最小流量目标;
- 废水产生的最小流量目标;
- 用水网络和废水处理系统的过程综合的适当指导原则(包括现有装置的改造), 以达到上述目标。

1994 ~ 1995 年间, 在英国威尔士的孟山都公司首次开发使用了水夹点技术, 使新鲜水消耗降低了 30%, 新建的废水处理设施的投资从 1500 万美元降低到 350 万美元, 节约了 1150 万美元投资费用, 并使每年的操作费用和原材料成本降低了 100 万美元。这项措施还使孟山都公司荣获了 1995 年英国化学工程师学会颁发的杰出安全与环境保护奖。

在早期的应用成果基础之上, 水夹点技术得到了快速的发展, 被越来越多用于商业和研究之中。本书汇总了近年来水夹点技术的研究应用成果, 并首次提供了应用该项新技术的全面指导。通过对基本原理进行详尽的理论剖析与实际应用的逐步指导相结合, 本书旨在使读者明白如何在生产过程中进行用水系统和废水处理系统的分析, 综合和改造, 实现工业水最大程度地回用和降低废水产生, 并使废水处理费用最小化。本书包括了概念开发、软件实施和工业应用三大部分, 是很好的工科学学生教材和工业技术人员的自学教材。特别指出的是, 本书列举了大量的例题分析和未公开的工业应用实例, 并提供了该领域研究应用的最新进展。另外, 本书还配备了《用水设计》的软件包, 该软件包提供了应用水夹点技术所必须的多种任务、方案, 利用该软件包可以容易地建立必要的图表, 以确定最小新鲜水流量目标和进行用水网络初步设计。

## 发展经历：过程集成

水夹点技术是过程集成工程设计领域在环境保护方面的突破，过程集成是面向系统的，以热力学为基础的一种方法，通过寻求物料和能量间的最佳匹配来实现全过程的费用最小化和废物产生量最小化。过程集成技术不但可以用于新装置的设计，也可以用于现有装置的改造，以提高系统的总体效率。

过程集成主要基于以下三个原则：

1. 将整个生产过程作为一个统一的整体，进行系统分析与设计。
2. 结合过程工程原理，确定物料、能量利用以及废物产生的先验目标。
3. 根据综合分析的结果最终确定过程设计的各个细节，以达到预先确定的目标。

从 20 世纪 70、80 年代开始，过程集成技术被用于换热网络的设计与改造过程中：利用热力学的基本原理和能量平衡，工程师可以系统地分析整个生产过程中不同温度间隔的热流并确定一个关键的温度称之为热夹点。在夹点之下，不需外来热公用工程(如蒸汽)；在夹点之上，同样不需要外来冷公用工程(如冷却水)。过程设计的任务在于使冷热流之间的传热最大化以减小不必要的公用工程消耗。在过去的 15 年里，夹点技术已发展成为成熟的设计方法，并成为过程设计与节能改造的实践标准。

## 过程集成与水夹点技术

过程集成技术在 20 世纪 90 年代得到了极大的发展，现在已包括资源回收利用，废气排放控制，废物减少、废水量最小化及其集成应用，特别值得一提的是，英国曼彻斯特理工学院(UMIST)的 Y.P.Wang 和 Robin Smith 于 1994 年发表在化学工程科学期刊(Chem. Eng. Sci)的两篇文章首次提出了水夹点技术，将过程集成技术应用于废水量最小化和废水处理系统设计之中。

水夹点技术将用水操作简化为一个从富含杂质的过程流股到水流股之间的质量传递。这里杂质包括悬浮的固体颗粒，化学需氧量，以及其它约束水回用的水质因子，如同换热网络设计一样，水回用过程集成确定一个夹点，称之为水夹点。所不同的是水夹点是基于某关键杂质的浓度，而不是温度；所含杂质水平在夹点浓度之上的流股不需要用新鲜水，而是利用过程中其它现有水流。利用这种原则，系统设计者和改造者可以使工业水回用最大化，使废水产生量最小化。

## 系统的教材和自学指导书

如前所提及的，尽管水夹点技术得到了广泛的开发应用，但目前仍没有一本

系统的教材对水夹点技术进行明确的阐述,指导该技术在工业水回用和废水量最少化中的应用。本书填补了此项空白,它不仅是工程技术人员学习和应用水夹点技术的参考书,也是化工、土木和环境工程专业学生很好的环境保护工程的教材。全书共分九章,系统地介绍了该设计方法及其具体应用。

第一章对水夹点技术进行了概述,并通过文献中的实例和作者从事工业节水项目说明了应用该方法能产生的巨大效益。

第二章阐述了采用浓度组合曲线和浓度间隔图确定水夹点和最小用水需求的基本原则。如前面所述,在此分析过程中,将用水系统当作一个杂质传质过程,而且在本章中只考虑含一种影响工业水回用的杂质的过程流股。

第三章用实例演示了如何按第二章所确定的流量目标进行用水网络的综合和现有用水网络的改造。

第四章对前两章进行了扩展,阐述了如何设计达到最小废水处理流量的废水处理系统,并对含多杂质废水处理作了简要介绍(具体内容将在第九章介绍),在这样的系统设计中,仍然可作为废水流股(富含杂质的过程流股)的传质问题,其目标是通过特定的处理过程除去杂质,而不是传递到新鲜水中。

第五章结合实际情况,作了对包含水回用,再生和循环过程的用水系统的分析、综合和改造的详细指导。本章介绍了处理流量有变化(如在冷却塔的蒸发损失,在脱水过滤器中的水量增加)或有固定流量约束的系统的设计程序,并以特制化学品厂的应用实例进行具体说明。

第六章重点讲述可以使水回用最大化和废水产生量最小的现有用水系统的过程改变,侧重于冷却塔、蒸汽锅炉及相似用水操作过程,以实例讲述工业实际中有效地改变过程的指导原则。

第七章和第八章讲述了含多种水质约束的水回用系统中水夹点技术的基本原理与应用。第七章利用亚太地区某石化工业区的应用实例,包括多杂质、水量损失和水量增加等过程来阐述多杂质系统从关键操作数据提取到成功应用的有效工程方法。

第八章开发了一种多杂质系统水夹点技术应用的更严格方法,包括问题模型、可行性分析、新鲜水流量最小化,网络设计和工业应用,并列举了一个包括多杂质再生和循环等过程的炼油厂的应用实例。

第九章介绍了两种数学优化方法,即线性规划和非线性规划,并用第八章给的实例介绍了这两种数学优化方法在水回用系统的设计和改造中的应用。非

线性模型尤其适用于再生过程，有流量约束、多杂质系统和废水处理系统设计。本章还介绍了灵敏度分析，即通过数学优化确定有效的过程变化来增加水的回用。另外，还将从第一章到第八章中介绍的水夹点技术与最优化方法作了对比，以使读者能够根据系统的特征来选择最有效的方法。

图 1.13 汇总了全书内容。

本书及附带的软件《用水设计》对水夹点技术作出了最全面的阐述，并给出了当前的最新进展。我们真诚地希望所有需要使用水夹点技术的工程技术人员都能掌握它。通过阅读本书和实例练习，读者可以对复杂用水网络和废水处理系统进行分析、综合和改造，以使水回用最大化，减少废水产生和使废水处理量最小。

## 致 谢

很高兴能借此机会向所有关心过本书出版的人们和单位表示衷心的感谢。

本书的主要思想源于 James G. Mann 的博士论文工作, 他借此机会向弗吉尼亚理工学院暨州立大学的导师委员会各成员表示衷心的感谢, 特别是刘裔安教授, 他提出了本书的原创思想, 又撰写了本书的详细内容。同时 James G. Mann 博士还向化学工程专业的 William L. Conger 教授和 Richey M. Davis 教授、土木与环境工程专业的 Nancy G. Love 教授以及工业与系统工程专业的 Hanif D. Sherali 教授表示谢意。

作者深深感谢弗吉尼亚州黑堡市模式识别研究公司的 Marie Paretti 女士, 感谢她为本书文稿的编辑所付出的辛勤劳动。

作者感谢弗吉尼亚理工学院暨州立大学 97 级化学工程本科生四年班的 Jesse Blocher 同学、98 级化学工程本科生四年班的 Anders DiBiccari、Lam Tran 和 Jayme Woodson 几位同学, 感谢他们为《用水设计》软件的开发给予的帮助。

此外, 作者还想感谢以 John T. Novak、Malcolm J. McPherson 和 Ronald G. Kander 教授为领导的弗吉尼亚理工学院暨州立大学的绿色工程项目所给予的资助, 以 L. Dean Eyman 总裁领导的弗吉尼亚州黑堡市废物治理研究所给予的资助。

本书的原手稿曾作为教材于 1995 年 12 月至 1996 年 5 月期间由刘裔安教授在台北为大学老师和工程技术人员举行的培训班上讲授; 于 1996 年 5 月至 6 月期间在北京、广州等地举行的培训班上讲授。在此, 刘裔安教授想向这些培训班的主办单位表示谢意: 由林秋景执行秘书长、王文伯主任领导的台北中国技术服务社的资源技术服务中心; 由曹湘洪总裁领导的北京燕山石化集团公司; 由华贵教授、主任领导的华南理工大学过程能量综合中心。

James G. Mann 还想对他的父母: 老 James G. Man 和 Frances I. Hart, 祖母 Priscilla G. Mann 表示谢意, 感谢他们在作者攻读研究生期间所给予的无私支持。

此外，他还想感谢 99 级生物化学研究生班的 Amy A. Davis，感谢她为本书的编辑工作所给予的帮助。另外，刘裔安教授向他的妻子刘庆霞表示谢意，感谢她在本书的撰写和校对期间的支持。

最后，作者们衷心感谢中国科学院院士汪家鼎教授和郭慕孙教授，及中国工程院院士、现任中国石油化工集团公司副总裁曹湘洪先生为本书中文版写序言。

## 软件选择与参考

很多公司正开发用水夹点技术的工业水回用和废水处理的商业软件的开发。目前两大软件是：

Aspen Water, 由艾斯苯技术公司开发, 地址: 10 Canal Park, Cambridge, MA 02141; 电话(617)949-1000; 传真(617)949-1030; E-mail 地址: info@aspentech.com; 网址: <http://www.aspentech.com>。该公司北京代表处地址是: 北京市东三环 2 号南银大厦 3208 室; 电话 01-641-06700; 传真 01-64106698。

Water Target, 由 Linnhoff March 有限公司开发, 地址: Targeting House, Gadbrook Park, Northwick Cheshire, United Kingdom CW9 7U2; 电话 44-0-1606-815100; 传真 44-0-1606-815151; E-mail 地址: info@linnhoffmarch.com.uk; 网址: <http://linnhoffmarch.com.uk>

本书包括了常用的设计工具和相关概念, 以便读者迅速掌握这两个软件的操作和使用。

此外, 我们认为以下两个软件包在解决多杂质用水系统的废水最小化模型方程与优化问题时很有帮助:

TK Solver, 主要解决非线性代数方程, 详细请联系通用技术有限公司, 地址: 1220 Rock Street, Rockford, IL 61101; 电话(800)435-7887; 传真(815)963-8884; E-mail: sales@uts.com; 网址: <http://www.uts.com>

GAMS/MINOS, 主要解决线性与非线性规划问题, 详细请联系 GAMS 开发公司, 地址: 1217 Potomac Street NW, Washington, DC 20007; 电话(202)342-0180; 传真(202)342-0181; E-mail 地址: sales@gams.com; 网址: <http://www.gams.com>

除了上述软件包之外, 我们还开发了一个设计软件《用水设计》, 可以自动完成基于夹点技术的分析方法, 软件的完整用户指南已集成在帮助菜单中, 软件的升级版本可以到网址: [http://www.eng.vt.edu/eng/che/water\\_liu.html](http://www.eng.vt.edu/eng/che/water_liu.html) 处下载。