

# | 前 言 |

智慧水务自概念提出以来，在水利、城建等领域得到迅速发展。然而，当前的智慧水务（水利）研究与建设多集中在国家宏观战略与方案设计层面，大多以流域（如智慧太湖、智慧永定河）或行政区（如广东省互联网+现代水利、宁夏回族自治区数字治水、深圳市智慧水务等）为单元，主要服务水资源管理工作；在工业企业微观层面建设智慧水务并开发系统平台的研究相对较少。本书在国家重点研发计划中美清洁能源联合研究中心政府间合作能源与水项目“能源与水纽带关系及高效绿色利用关键技术”（2018YFE0196000）和大唐环境产业集团股份有限公司委托项目“智慧水务管理平台和水网改造系统设备”（DTEG--SCL128-CZ09-2018、DTEG--SCL131-CZ01-2018）等共同资助下，从微观尺度入手，填补用水户层面的智慧水务建设与管理空白，且通过水平衡自动测算与用水水平评价，促使企业自主节水、主动节水，经济社会生态效益显著。主要研究成果如下。

（1）对工业企业用水总体情况及分类进行概述，阐述企业用水过程机理及用水网络机理；对工业企业水系统进行界定与概化，阐述分析不同用水、排水、回用水等水系统的特点，提出水系统分析的约束条件。以火力发电企业作为典型工业企业代表，分析其水系统特征，并选择某火力发电厂为案例企业，介绍其现状水系统及取用耗排水情况。

（2）利用水资源系统分析方法的分析思路，以整个工业企业的水系统为研究对象，应用运筹学方法构建基于废水零排放的工业水系统优化模型，以某火力发电厂为例进行优化实践研究。废水零排放优化后，案例火力发电厂新鲜水取用量减少了  $364 \text{ m}^3/\text{h}$ ，取水费用降幅为 11.19%；新鲜水取用量的减少也导致处理水量、费用的大幅度下降，运行处理费用下降了 22.05%；由于达到废水零排放，预计每年可节省排污费用 255 万元；在废水零排放和水系统优化后，预计每年可减少用水总费用 1252 万元，降幅达 16.50%。

（3）基于水系统传质过程，构建工业企业水系统集成优化模型，对工业企业水系统及节水进行优化调控。优化后，案例火力发电厂总新鲜水用量减少 238.2 t/h，较原用水减少 7.48%，直接排污减少 70%，水处理单元处理能力均被最大化利用，更符合企业节水改造实际。

（4）在工业企业智慧水务建设必要性与可行性分析的基础上，结合工业企业

智慧水务建设要求,提出工业企业智慧水务建设目标,开展工业企业智慧水务技术方案研究,主要包括水计量设施及采集传输设备配置方案、综合数据存储系统设计方案、全厂与各用水单元的水平衡动态测算方案、主要水处理系统设备故障诊断与管理方案,以及主要水处理系统运行成本测算方案等。

(5) 针对工业企业智慧水务技术方案,对工业企业智慧水务管理系统进行开发设计,主要包括数据采集与整编系统、专业计算服务与自动报警系统、综合应用 Web 系统和移动端 APP 系统等的开发设计。

(6) 以某火力发电厂为例,开展工业企业智慧水务管理系统应用实践研究。结合案例火力发电厂实际情况,重点介绍智慧水务管理系统首页、实时监控、日常工作、水量平衡、故障诊断、成本测算、统计分析和预警管理等模块功能。

本书适用于电厂、煤矿、金矿、化工厂等大中型工业企业的智慧水务管理工作,也可供居民区、商业区、工业园区等区域水务管理参考借鉴。

本书共 8 章。

第 1 章为绪论,主要介绍研究背景与意义,综述国内外在智慧水务领域的研究进展,介绍本书的主要研究内容。本章由侯保灯、肖伟华、刘太阳、刘林虎、刘军等共同执笔撰写。

第 2 章为工业企业用水机理与水系统分析,主要阐述企业用水过程机理及用水网络机理;对工业企业水系统分析,以及案例企业水系统及取用耗排水情况进行介绍。本章主要由肖伟华、侯保灯、刘太阳、陈晓清等共同执笔撰写。

第 3 章为基于废水零排放的工业水系统集成优化研究,主要构建基于废水零排放的工业水系统优化模型,并对案例企业进行模型建模与节水优化应用实践。本章主要由侯保灯、肖伟华、朱丽姗、刘军、陈晓清等共同执笔撰写。

第 4 章为基于传质过程的工业水系统集成优化研究,主要构建基于传质过程的工业水系统集成优化调控模型,并对案例企业进行水系统及节水优化调控研究。本章主要由肖伟华、侯保灯、刘太阳、邓锦辉、刘军、陈晓清等共同执笔撰写。

第 5 章为工业企业智慧水务技术方案研究,主要开展工业企业智慧水务技术方案研究,包括水计量设施及采集传输设备配置方案、综合数据存储系统设计方案、全厂与各用水单元的水平衡动态测算方案、主要水处理系统设备故障诊断与管理方案,以及主要水处理系统运行成本测算方案等。本章主要由肖伟华、侯保灯、李薇、刘林虎、邓锦辉等共同执笔撰写。

第 6 章为智慧水务管理系统开发设计,主要提出智慧水务管理系统开发设计方案。本章主要由刘太阳、邓锦辉、侯保灯、肖伟华等共同执笔撰写。

第 7 章为智慧水务管理系统平台应用实践,主要以某火力发电厂为例,开展工业企业智慧水务管理系统应用实践研究。本章主要由刘太阳、侯保灯、刘林虎、

肖伟华、邓锦辉、崔峰、王秋慧、刘军等共同执笔撰写。

第 8 章为总结与展望，主要对研究成果和创新点进行总结，对未来工业企业水系统集成优化与智慧水务管理发展方向进行展望。本章主要由侯保灯、肖伟华、刘林虎、刘太阳、邓锦辉等共同执笔撰写。

全书由肖伟华、侯保灯、刘林虎、刘太阳、邓锦辉等修改并定稿。

本书研究过程中得到中国工程院王浩院士的全程指导，中国水利水电科学研究院水资源所多位所领导多次指导把关，在此表示衷心感谢！

本书研究过程中得到大唐环境产业集团股份有限公司、大唐（北京）水务工程技术有限公司、阳城国际发电有限责任公司（大唐阳城发电有限责任公司）等单位领导及有关人员的支持与帮助，研究生朱丽姗、陈晓清、刘军、焦阔、杨涵晟、李霁恒等先后参与了关键技术的攻关研究，研究生任百川参与了最终书稿的审阅工作，特此一并感谢！

限于时间和作者水平，书中疏漏之处在所难免，诚望读者不吝赐教、批评指正。

作 者

2025 年 12 月



# | 目 录 |

## 前言

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| <b>1 绪论</b> .....                  | 1  |
| 1.1 研究背景 .....                     | 1  |
| 1.2 国内外研究进展 .....                  | 2  |
| 1.3 主要研究内容 .....                   | 10 |
| <b>2 工业企业用水机理与水系统分析</b> .....      | 12 |
| 2.1 工业企业用水机理 .....                 | 12 |
| 2.2 工业水系统的界定 .....                 | 16 |
| 2.3 火力发电厂水系统分析 .....               | 20 |
| 2.4 案例企业水系统介绍 .....                | 29 |
| 2.5 小结 .....                       | 33 |
| <b>3 基于废水零排放的工业水系统集成优化研究</b> ..... | 35 |
| 3.1 水资源系统分析方法 .....                | 35 |
| 3.2 优化流程 .....                     | 38 |
| 3.3 模型构建 .....                     | 39 |
| 3.4 案例分析 .....                     | 42 |
| 3.5 小结 .....                       | 49 |
| <b>4 基于传质过程的工业水系统集成优化研究</b> .....  | 50 |
| 4.1 基于传质过程的工业水系统集成优化理念 .....       | 50 |
| 4.2 基于传质过程的工业水系统描述方法 .....         | 51 |
| 4.3 基于传质过程的工业水系统模型构建 .....         | 53 |
| 4.4 工业企业节水优化调控模型构建 .....           | 57 |
| 4.5 案例分析 .....                     | 67 |
| 4.6 小结 .....                       | 72 |
| <b>5 工业企业智慧水务技术方案研究</b> .....      | 74 |
| 5.1 智慧水务建设必要性与可行性 .....            | 74 |
| 5.2 建设目标 .....                     | 76 |
| 5.3 水计量设施及采集传输设备配置方案 .....         | 77 |

|     |                          |     |
|-----|--------------------------|-----|
| 5.4 | 综合数据存储系统设计方案 .....       | 83  |
| 5.5 | 全厂与各用水单元的水平衡动态测算方案 ..... | 91  |
| 5.6 | 主要水处理系统设备故障诊断与管理方案 ..... | 97  |
| 5.7 | 主要水处理系统运行成本测算方案 .....    | 103 |
| 5.8 | 小结 .....                 | 114 |
| 6   | 智慧水务管理系统开发设计 .....       | 115 |
| 6.1 | 数据采集与整编系统 .....          | 115 |
| 6.2 | 专业计算服务与自动报警系统 .....      | 116 |
| 6.3 | 基础及综合应用服务系统 .....        | 118 |
| 6.4 | 综合应用 Web 系统 .....        | 118 |
| 6.5 | 移动端 APP 系统 .....         | 133 |
| 6.6 | 小结 .....                 | 135 |
| 7   | 智慧水务管理系统平台应用实践 .....     | 136 |
| 7.1 | 系统开发与运行环境 .....          | 136 |
| 7.2 | 系统基本操作 .....             | 136 |
| 7.3 | 水量平衡 .....               | 143 |
| 7.4 | 故障诊断 .....               | 150 |
| 7.5 | 成本测算 .....               | 159 |
| 7.6 | 统计分析 .....               | 163 |
| 7.7 | 预警管理 .....               | 171 |
| 7.8 | 知识库 .....                | 186 |
| 7.9 | 小结 .....                 | 200 |
| 8   | 总结与展望 .....              | 201 |
| 8.1 | 主要成果 .....               | 201 |
| 8.2 | 主要创新点 .....              | 202 |
| 8.3 | 研究展望 .....               | 205 |
|     | 参考文献 .....               | 207 |

# | 1 | 绪 论

## 1.1 研究背景

工业是国家发展的重要支柱，而水是工业生产所需的重要原料之一，在当前的工业行业中，几乎所有的工业生产都与水存在直接或者间接的关系，甚至每一个生产环节都需要水的参与，可见水在工业生产过程中发挥着不可替代的作用。在以往的发展过程中，我国工业行业的用水方式比较粗放，用水量大，排污量也大，用水效率较低，节水技术较为落后，距国际先进水平仍有较大差距（中华人民共和国水利部，2019）。当前，我国工业发展正处在从量变到质变的过程中，亟须向数字化、网络化、智能化转型，大幅提升企业创新能力和集约化发展水平。

近年来，国家对节水工作提出了更高的要求，颁布了一系列政策方针，其中也含有诸多针对工业用水的要求。2019 年，国家发展和改革委员会、水利部发布《国家节水行动方案》，提出到 2022 年要初步建立节水型生产和生活方式，到 2035 年，水资源节约和循环利用达到世界先进水平，并指出要积极推行水循环梯级利用；2021 年，住房和城乡建设部、国家发展和改革委员会、水利部、工业和信息化部四部门联合印发《关于加强城市节水工作的指导意见》，指出要大力推进工业节水，推广节水产品（设备）和工艺（柯善北，2022）；同年，国家发展和改革委员会、水利部、住房和城乡建设部、工业和信息化部、农业农村部颁布《“十四五”节水型社会建设规划》，指出要推进工业节水减污……实施企业节水改造，推进企业内部用水梯级、循环利用，提高重复利用率；2022 年，工业和信息化部等六部门联合印发《工业水效提升行动计划》，指出工业废水循环利用水平进一步提高，力争全国规模以上工业用水重复利用率达到 94% 左右。近几年，国家颁布的政策对工业的节水减污提出了一系列要求，指出通过梯级用水、循环用水，推进节水工艺对工业用水进行减量，并明确了工业节水的主要方向。

研究工业节水不仅可以满足国家及地方对工业企业用水的政策要求，同时也可以减少取水、排污带来的水资源费和排污费，进而达到提高产能的目的。以往关于工业节水的研究主要是基于指标的计算和评价，偏向于宏观层次的研究，没有深入到具体工业行业和企业内部，研究内容上缺少对工业用水原理的解析，研究

尺度上缺乏对微观层次的节水研究。本书将整个水系统作为一个有机整体进行综合考虑；对水系统中的各种工艺、装备等节水技术，以及污废水的回用、再生和循环的所有可能情况进行综合考察；采用过程系统集成的原理和技术对水系统进行优化改造；按品质需求逐级用水，提高水系统的重复利用率，使整个水系统的新鲜水消耗量和废水排放量同时减少；最终实现全厂水系统集成优化，达到节水、控污、减排的综合目的。

当前工业企业的二级、三级水表安装率相对较低，供水管网“跑”“冒”“滴”“漏”现象时有发生且无法快速定位排查，通常只能通过每 5~10 年开展一次的全厂水平衡测试来排查。然而传统水平衡测试一般都是过去某一时刻的水平衡，无法测试现状及预测未来。此外，水平衡计算中的水量参数包括新水量、循环水量、串联水量、耗水量、排水量和漏失水量等，无法实现所有参数的在线自动监测。本书通过必要的简化和概化，依据已知的监测数据推算得到无法监测的数据；采用神经网络（Neural Network）自适应智能算法和大数据智能挖掘技术，建立关键水量参数的相关关系，构建实时供水量与用水量、耗水量的相关关系模型；在此基础上，基于大数据并行算法，实现全厂用水系统与各用水单元水平衡实时自动测算。

工业企业与水有关的单元运行成本相对较高，尤其是企业自建的水处理系统，其耗水量、用电量、加药量均较大。本书采用层次分析法把水处理系统运行成本影响因素划分为相互联系的有序层次，构成了一个多层次系统分析模型，建立了制水的综合生产费用价格模型，实时预测优化前后制水成本；通过实时测算并显示水系统所有处理单元运行成本，实时显示系统运行成本的综合性能，实现对药剂的优化配置，给出加药量优化配置建议，进而实现节约成本的目的。

当前的智慧水务（水利）研究与建设多集中在国家宏观战略与方案设计层面，大多以流域（如智慧太湖、智慧永定河）或行政区（如广东省互联网+现代水利、宁夏回族自治区数字治水、深圳市智慧水务等）为单元，主要服务水资源管理工作；在工业企业微观层面建设智慧水务并开发系统平台的研究相对较少。本书从微观尺度入手，填补了用水户层面的智慧水务建设与管理空白，且通过水平衡自动测算与用水水平评价，促使企业自主节水、主动节水，经济社会生态效益显著。

## 1.2 国内外研究进展

### 1.2.1 工业节水研究进展

工业节水是提高工业水资源利用率的重要措施，工业用水量直接决定了工业

生产的先进程度,越是发达的国家对工业节水的要求越高,同时对应的工业节水研究与实践越发成熟。按工业用水的发展过程,工业用水经历了传统工业水系统(又称直流型工业水系统)、循环型工业水系统和工业园区用水系统(李海红等,2020)。其中,传统工业水系统出现在工业用水未受到水资源及环境容量严重约束的地区,体现为“直用-直排”工业用水工程;循环型工业水系统出现在各类型用水与排水逐渐受到资源与环境约束的情景下,企业内部建立循环利用和废污水处理回用系统进行水的直接回用与再生回用;工业园区用水系统出现在现代成熟工业体系中,考虑到不同企业不同用水过程对用水水质的要求不同,建立工业园区实现了企业间相互供水,并由统一的废水处理企业进行废水再生。

发达国家的工业化起步早于我国,其用水系统目前大多已发展到“工业园区用水系统”,工业节水研究较为成熟且有较多可取之处,Dupont 和 Renzetti(1996)对比了加拿大国内外工业用水情况,通过多层次的工业用水评价模型,对水资源、劳动力与资本的关系进行了分析,结果表明,加拿大再生用水率不断提高,技术改革主要应用于供水优化。Reynaud(2003)对法国某工业企业的需水情况进行了分析,采用线性回归法和最小二乘法对其水量及价格进行评价,结果显示,工业企业对新水价格较为敏感。Mortier 等(2007)对比比利时钢铁企业冷却用水、生产用水、非生产用水等各个用水环节用水管理现状进行了分析,为水资源循环利用提供了参考。Alkaya 和 Demirer(2015)对土耳其的饮料生产企业进行了用水分析和基准测试,企业采用循环水和再生水补给冷却水系统,使企业的用水量大量下降,为解决冷却水过度消耗问题提供了实践参考。

20 世纪 90 年代以来,我国学者对工业用水进行了全方位、多层次的研究,研究内容主要包括对工业用水量及其规律、工业用水效率、工业用水影响因素及驱动因子的研究;研究的层次可分为宏观、中观、微观三个层次。

在宏观的工业用水研究中,贾绍凤(2001)分析了发达国家的工业用水情况,认为环境保护政策、产品产量、产业升级和水价等因素导致了工业用水量的减少。鲁欣(2007)对比国内外工业用水量,发现发达国家工业用水在快速增长阶段之后,会进入零增长阶段或者负增长阶段,相比之下中国能够保持经济高速发展而工业用水低增长,主要归因于国家对产业结构的调整及节水技术的推广。

在中观的工业用水研究中,陈晓燕等(2002)对国外常用的工业节水途径进行了总结,节水途径包括污水处理与回用、使用节水工艺及设备、减少新水用量和排污量。祁鲁梁和高红(2005)认为工业节水的首要途径是提高工业用水重复利用率,根本途径是淘汰落后生产工艺,应用节水工艺。伍振毅和宋宗文(2006)对中国节水技术创新进展进行了总结,认为政府应鼓励提高节水科技转化率,并深入研究工业废水回收利用技术。杜斌等(2007)提出通过改良型、新兴型和重

复利用型三类工业用水的关键技术来降低工业用水需求。张大威（2012）总结了我国节水减排技术的现状，认为我国的节水技术发展势头较好，但是缺乏我国自主研发的水处理技术。

在微观的工业用水研究中，石岩等（2011）总结了我国钢铁行业生产工艺，认为当时工艺节水水平落后，应推广节水工艺取代落后工艺，从工业废水的末端治理转为源头控制。韩锋（2013）针对石油化工企业提出一种废水处理革新方案，节水效果显著，对含油废水的处理回用具有参考价值。

### 1.2.2 水系统集成优化研究进展

工业节水除了改进工艺外，还可以从水系统集成角度出发，通过调整水的回用过程、梯级使用过程，实现按品质需求逐级用水，进而达到减少取水以及排水的目的（冯霄等，2012）。以用水单元传质过程描述单元用水过程，并以水网络整体最优进行节水研究是目前水系统集成优化的核心。

21 世纪以来，中文文献关于水系统集成优化的创新性研究有：李英和姚平经（2004）提出通过水夹点分析对水网络集成优化模型进行降维度，从而加快收敛速度以及简化结果水网络；段海涛等（2007）与徐宏勇（2014）分别利用粒子群算法与模拟退火算法求解水网络集成优化问题，进化及启发式算法虽然耗时、易陷入局部最优，但也是求解此类问题的新思路；刘永忠等（2009）利用博弈论中纳什均衡策略，在最大入口连接数、最大出口连接数两个策略下进行以新鲜水最小为目标的水网络集成优化，纳什均衡点即为最优水网络；李凤喜等（2011）构建了包含 3 个用水单元、3 个处理单元，以总费用最小为目标的多杂质水网络优化模型，并采用列队竞争算法-SQP 算法混合求解的策略求解该优化模型；王曦（2009）针对多新鲜水源的用水网络进行建模，并提出以需求水流的浓度势（CDP）为度量值的多水源水网络的优化方法；彭永丽（2010）以单元间用水总成本最小为目标，构建了水网络非线性规划（Nonlinear Programming, NLP）模型，并进行求解。在对整个水网络进行研究的同时，部分学者也对用水子过程水网络进行集成优化研究。周炳华（2010）构建了炼油厂网络集成优化的两层优化模型，对子用水网络分别建模，并将各子网络优化最小用水量作为总优化目标，实现水网络、氢气网络、蒸汽网络的协同优化；丁力等（2010）对热电企业冷却水系统进行集成优化，构建流通股数最小-新鲜水最小的两层优化模型，在不同的流通股数下求解以新鲜水最小为目标的优化模型，从而求得流通股数较少情景下相对最小的循环水用量方案。近年来，由于水系统集成优化理论研究趋于成熟，国内研究开始侧重于应用研究，包括煤制甲醇（周炳华，2010；丁力等，2010；鄢凯，2015；张

冉, 2017)、煤焦化(秦杰和许新乐, 2016)、针织企业(张冉, 2017)、炼油企业(岳佳鑫, 2020)的水网络集成优化应用研究。目前, 水网络与换热网络一体优化也是研究热点(赖冬麟, 2012)。

近年来, 英文文献对水系统集成优化的研究以考虑多种成本目标、成本和新鲜水量双目标、水网络水热一体优化、工业园区水系统集成优化研究为主。Sharma 和 Rangaiah (2014) 针对某炼油厂供水管网, 以新鲜水量最小化和再生供水量最小化为双目标, 优化设计了水热一体化水网络。Yan 等 (2016) 提出了一种水热一体化的水网络集成优化方法, 在单杂质和多杂质问题上选取了 7 个案例进行测试, 其中一个案例的总年度成本 (TAC) 与文献值相同, 其他 6 个案例的 TAC 小于文献值。Sujak 等 (2017) 构建了成本最优水网络设计模型, 在新鲜水用量最小化的基础上进行成本最优的二次优化, 在选择最佳的减少用水方案的同时考虑了水管理的多个层次和成本限制。Tiu 和 Cruz (2017) 构建了同时考虑管道成本、运营成本、用水以及水处理成本的工业园区水网络优化模型, 发现在减少环境影响方面, 考虑水量和水质比只考虑水量效果更好。Zhang 等 (2018) 以典型的钢铁园区为研究对象, 构建了两种以年费用最小为目标的优化模型——只考虑工厂间的间接集成策略, 以及结合直接和间接集成的混合集成策略, 结果显示, 间接集成策略的新鲜水消耗量和年总成本分别降低了 22% 和 21%, 混合集成策略则只有年总成本节省了 23%。Jiang 等 (2019) 提出了一种基于上层建筑的工业园区水系统集成优化方法, 同时考虑了厂间用水子系统及厂内用水子系统的集成, 并以年用水成本最小为目标进行案例工业园区优化, 实现了给水系统的用水最小化和高效的供水系统共用。Djebedjian 等 (2021) 分析了水网络优化设计中, 元启发式优化算法对水网络特性和算法控制变量的敏感性, 提出了元启发式优化算法的新性能指标, 得出差分进化算法是求解水网络优化设计问题的元启发式优化算法。

### 1.2.3 智慧水务建设情况

水务, 狭义上来说, 一般特指城市水务, 包括原水、供水、节水、排水、污水处理及水资源回收利用等事务, 是城市基本服务行业之一; 广义上来说, 水务可包括涉水的一切事务, 包括流域水资源管理、农业水利、城市水务等。本书将智慧水务分为江河湖海智慧流域、行政区域智慧水利、工业企业智慧水务三类。

#### 1.2.3.1 江河湖海智慧流域

智慧流域, 是指利用新一代信息技术, 以流域为基本单元, 以水为主题, 以

实现流域涉水信息感知透彻化、流域业务协同化、流域调度科学化、工程控制自动化和涉水服务泛在化为目的的信息化体系，是“数字流域”概念的拓展，是智慧水利在流域范围的体现。

### 1) 智慧太湖

太湖流域是“感知中国”的策源地，是全国“智慧城市”建设的先行先试地区和新一代技术创新热点地区，该区域的信息基础设施条件优越，地方政府对信息化带动下的现代化管理理念和模式的接受程度高，在水利、环保、气象、农业等信息化建设方面形成了丰富的信息资源和应用成果，这为加快智慧太湖建设，探索流域治理新模式提供了良好的大环境。

浙江省台州市智慧水务试点取得明显成效，上海市智慧水务积极推进，江苏省作为水利部数据整合共享试点省份已完成试点工作，在此背景下，2016年6月，水利部太湖流域管理局（简称太湖局）组织实施了太湖流域水资源监控与保护预警系统项目。

《2017年水利信息化工作要点》明确“在太湖局现有成果基础上，结合在建项目，部署开展智慧太湖试点工作”。拟利用近三年的时间，按照“注重统筹协调、实施总体规划，强化资源整合、促进协同共享，健全保障体系、加强管控力度”的工作思路，结合太湖局正在建设的水资源监控与保护预警系统、国家防汛抗旱指挥系统二期工程、国家水资源监控能力建设项目、太湖局资源整合共享等项目开展相关工作。

通过试点，明确智慧太湖的建设目标、建设任务、总体框架、技术路线、建设内容及进度计划等，并探索形成具有太湖特色的智慧流域发展新理念新模式。同时，全面总结智慧流域建设经验与推进策略，研究智慧流域的基本特征、建设目标、建设任务、技术体系、保障机制、总体框架和评价指标，并形成智慧流域评价指标体系等成果，指导推进全国智慧流域建设。

目前，智慧太湖已基本建成，通过智慧太湖统一门户网站，取水许可管理、防洪抢险等方面取得显著进展。当前，在智慧太湖流域建设的基础上，数字孪生太湖建设已经启动，将以服务和保障长江三角洲一体化高质量发展为总体目标，聚焦流域水安全、水资源、水环境等多目标统筹优化调度业务需求，采用大系统设计、分系统建设、模块化链接、共建共享的理念，通过信息化基础设施、数字孪生平台、业务应用及网络信息安全建设，为强化流域治理管理“四统一”提供决策支持，全面提升流域水安全保障能力，为流域经济社会高质量发展提供支持和保障。

### 2) 智慧永定河

智慧永定河以永定河生态修复为主线，建设永定河感知网、永定河信息网、

永定河大脑、智能业务应用、网络安全体系和流域协同管理机制六大主要任务和永定河水资源、水环境、水生态、水工程等八大核心业务应用系统，以及 10 项重点建设工程。真正实现从一条河（永定河）到四条河（流动的河、绿色的河、清洁的河、安全的河）再到一条河（智慧永定河）的转变。

### 3) 智慧汾河

基于物联网（Internet of Things, IoT），构建汾河流域智慧管控平台，实现汾河流域的现代化智慧管控，指导流域可持续发展。

### 4) 智慧沙坪河

基于河长制，建设鹤山市（广东省江门市代管县级市）沙坪河流域智慧管理平台，实现管理的智能化、专业化、精细化、自动化。

### 5) 智慧巡河

借助广泛存在的摄像头，利用人工智能技术辅助巡河/湖员，提高河湖管理水平。

#### 1.2.3.2 行政区域智慧水利

智慧水利是智慧地球的思想与技术在水利行业的应用。智慧水利运用物联网、云计算、大数据等新一代信息通信技术，促进水利规划、工程建设、运行管理和社会服务的智慧化，提升水资源的利用效率和水旱灾害的防御能力，改善水环境和水生态，保障国家水安全和经济社会的可持续发展。

水利部历来高度重视水利信息化建设，提出了以水利信息化带动水利现代化的总体要求。2017 年 5 月，水利部正式印发《关于推进水利大数据发展的指导意见》，该指导意见是水利部深入贯彻党中央提出的国家大数据战略、国务院《促进大数据发展行动纲要》等系列决策部署的重要举措，旨在在水利行业推动数据资源共享开放，促进水利大数据发展与创新应用。2019 年，水利部发布《加快推进智慧水利指导意见》，指出全方位推进智慧水利建设是加快推进新时代水利现代化的重要举措。将智慧水利建设作为推进水利现代化的着力点和突破口，加快推进智慧水利建设，大幅提升水利现代化水平。

行政区域智慧水利建设要统筹考虑全区的水资源、水环境、水生态，一般涉及不同流域，相比江河湖海智慧流域建设更加复杂，但因可以统筹全区的力量，建设难度反而低于智慧流域建设。此外，对于实行水务一体化改革的区域，为表述方便，也称之为智慧水务，如海南省智慧水务、北京市智慧水务、深圳市智慧水务等。

#### 1) 江西省智慧水利

为推动“数字水利”向“智慧水利”转变，《2017 年水利信息化工作要点》要求“在浙江台州智慧水务试点基础上，开展示范基地建设，同时选择具备条件的省级水利部门，开展智慧水利试点工作”。此后，江西省水利厅积极贯彻落实江

西省委、省政府决策部署，组织开展“智慧水利”建设试点，编制了江西省智慧水利行动方案，启动实施智慧抚河信息化工程项目。

利用近四年的时间，坚持“创新驱动、融合发展，统筹规划、科学指引，突出重点、梯次推进，可管可控、强化安全，政府引导、合力共建”的工作原则，结合江西省水利厅正在建设的智慧抚河信息化工程、河长制河湖管理信息平台、国家防汛抗旱指挥系统二期工程、国家水资源监控能力建设项目（2016~2018年）等项目开展相关工作。

通过试点，计划到2020年，江西省智慧水利建设框架基本形成，信息基础设施更加完善，信息资源共建共享体系初步建立，数据标准化建设扎实推进，政务支撑体系基本建成，公共服务体系初见成效，智慧水利产业体系初步搭建，探索形成具有江西特色的智慧水利发展新理念新模式。

江西省智慧水利建设坚持走在全国前列、走产业化发展目标，大力推进智慧水利行业应用建设，研制了具有自主知识产权的智能水表、一体化智能测站，利用5G、北斗、图像识别等技术在大坝形变监测、岸线监管等领域开展试点应用，深入挖掘物联网、大数据等技术在供水行业的应用，让科技创新融入传统供水管理。目前，全省智能水表数量破百万，服务人数超千万。

江西水利系统近年来通过强基础、搭平台、促应用，将智慧水利覆盖面不断延伸到水旱灾害防御、水利项目建设、河湖精细化管理等方面，加快推进水治理体系和治理能力现代化，全面推动新阶段江西水利高质量发展。

## 2) 广东省互联网+现代水利

广东省近年来不断实施信息化强省战略，取得了很好的成效。2017年，广东省水利厅印发《广东省“互联网+现代水利”行动计划》，研究提出了今后广东省水利信息化建设的总体要求、发展目标、主要任务、保障措施等，为今后水利事业改革和发展提供有力支撑。

行动计划提出到2018年，建成水利“一朵云”“一专网”“一张图”，建成水利三防监控指挥中心。大幅提高计算、存储、传输、应用等软硬件资源集成利用能力和网络信息安全保障能力，实现三防通信省-市50M、市-县-镇20M以上带宽专线互联，实现全省江河湖库、水利工程、水资源管理、水生态环境、三防减灾、河长制等地理信息和大数据集成，共享水利业务协同应用和界面集成。到2019年，建成三防在线决策指挥、水安全在线监控、水行政执法监督指挥、网上行政审批、网上民生服务、资金全程监督六大平台。实现三防指挥更加精准快速，执法管理更加高效透明，资金监管更加廉洁阳光，行政审批更加快捷规范，民生服务更加精细普惠，水安全管理更加动态可视，形成一体化综合管理、多业务协同的网上水安全、水管理体系；到2020年，构建泛在、智能感知、天地一体的信息采

集体系，实现信息处理的集中化和大数据化；完成水文监测信息化、流域管理信息化、互联网+河长制等九大专项行动，实现水利业务应用全覆盖。

目前，广东省水利厅已经开展实施广东智慧水利工程（一期）项目，未来全省水利部门将以省域治理“一网统管”水利专题为引领，充分发挥智慧水利网在“水安全、水资源、水工程、水环境、水生态、水服务”六大应用体系中的作用，逐步构建智能高效的智慧水利网体系，提升水利政务服务和水利治理能力。

（1）在水安全方面，将从江河洪水、山洪灾害防御、水利工程风险、旱情分析等现实应用场景出发，汇聚全省水旱灾害风险普查、山洪灾害调查评价、中长期降雨预报、河道来水量、水库蓄水量、流域区域需水量等海量水利基础数据，利用智能化算法，实现流域洪水风险实时分析和动态预警、山洪防治区的山洪灾害预警、旱情预测和抗旱形势分析等目标。

（2）在水资源方面，在汇集水资源监测数据的基础上进行水资源量动态计算分析，实现对河道及地下水用水总量的精准管控和对非法取用水的有效监管。未来省市每一个重点用水单位的用水计划和实际用水量都将全部汇聚在一起，通过智能化手段实现自动管理，一旦有单位出现超额超计划用水，将自动发布预警，做到全面加强节水监督管理、稳步提升用水效率。

（3）在水工程方面，未来在建、新建水利工程竣工验收逐步实现交付数字化模型，打造水利工程的数字化管理平台，前期已建的水利工程也要逐步实施基础数据数字化，实现对水库、水闸、堤防等水利设施的动态安全监测和隐患排查。

（4）在水环境方面，下一步广东省将继续升级智慧河长平台功能，围绕“河畅、水清、岸绿、景美、人和”的目标，加强水域岸线管控，实现河湖事件全流程数字化闭环管理。在具体实施路径上，水利部门将通过汇聚河湖长度、流域面积、水域岸线、涉河建设项目等信息，形成河湖水域岸线保护利用规划一张图，再加上河湖健康评价成果和水质水量监测数据，实现河湖健康动态评价。

（5）在水生态方面，为了保障健康的水生态，水利部门对河道采砂、水土流失等事务的执法监管至关重要，这一领域的智慧水利建设也将发挥重要作用。通过收集水土流失监测和综合治理的相关数据，构建水土保持一张图，执法人员可以在模型算法的辅助下更加精准地判别出疑似违法违规扰动图斑，极大提升在线监管的能力，还可以实时监控采砂船的位置和状态，实现涉水违法案件发现、跟踪、报警全过程自动化，提高执法效率。

### 3) 深圳市智慧水务

深圳市智慧水务是深圳智慧城市建设的重要组成部分，以“一图全感知、一键知全局、一站全监控、一机通水务”为最终目标，以信息化手段统筹水资源、水安全、水环境、水生态、水文化的基本信息；建成基于数据分析、信息共享和

人工智能相结合的监管、决策体系；建成分类、分级监控平台，实现全方位监控、自动化调度。

### 1.2.3.3 工业企业智慧水务

本书理解的水务主要侧重于水的供应、处理、排放、回用等方面，“智慧水务”是“智慧水利”在城乡一体水务领域的发展延伸，而城市水务工作中的“智慧水利”是“智慧水务”的重要组成部分。相较于行政区域智慧水利建设，工业企业智慧水务一般不涉及宏观的水旱灾害防御、水资源管理、水环境综合整治、水生态保护与修复等内容。

#### 1) 水厂智慧水务

水厂智慧水务主要体现在城市供水、排水、污水处理等方面，智慧水务的建设主体主要是自来水厂（集团、公司）、排水厂（集团、公司）、污水处理厂（或再生水厂）等。

智慧供水：主要包括供水设施全面动态化管理、实时监控管网关键点、管网漏损自动预警，以及辅助爆管事故处理；

智慧排水：主要包括立体排水、雨洪利用、智能排涝；

污水处理：主要包括关键生产指标（进出水量、污染物浓度、集水井水位）、运行数据（设备开关、电流、电压）的自动采集、实时监视、智能预警、实时监管。

#### 2) 工业企业智慧水务

工业企业智慧水务一般是智慧工业（园区）、数字化车间、智能工厂的组成部分，主要为工业企业的主营业务服务，如电厂智慧水务主要是为了辅助安全发电而对取水、供水、用水、排水进行的智慧化管理。

## 1.3 主要研究内容

本书以工业企业水系统为研究对象，首先介绍工业企业用水机理，以及主要水系统的界定并简要分析；然后对工业企业水系统集成优化进行研究，包括基于废水零排放的工业水系统和基于传质过程的工业水系统；接着在此基础上开展工业企业智慧水务技术方案研究；最后以某火力发电厂为案例企业，开展智慧水务管理系统开发设计与应用实践。

#### 1) 工业企业用水机理与水系统分析

概述工业企业用水总体情况及分类，阐述工业企业用水过程机理及用水网络