

# 城市节水关键技术与示范

张雅君<sup>1</sup> 田一梅<sup>2</sup> 刘红<sup>3</sup> 张桂花<sup>4</sup> 李光明<sup>5</sup> 王华<sup>6</sup>

(1 北京建筑大学,北京 100044; 2 天津大学,天津 300072; 3 北京节约用水管理中心,北京 100036; 4 中国城市规划  
设计研究院,北京 100044; 5 同济大学,上海 200092; 6 中科院建筑设计研究院有限公司,北京 100190)

**摘要** 从节水减排角度出发,针对城市工业和生活用水量、节水减排任务重的实际情况,开展技术攻关,编写了政府性文件 2 项、地方标准 4 项、技术指南 2 部、行业标准 1 项,形成关键技术 6 项,建成示范工程 3 座,申请国家发明专利 12 项,实用新型专利 12 项,软件著作权 2 项。研究成果不仅对于切实推动并提高全国城市节水水平与节水效率、引领全国各城市相关标准的制定和节水工作具有重大意义和示范作用,也有力支撑了国家总的节水政策与目标,为城市主管部门进行节水评价、节水减排管理及节水技术、设备、器具应用管理提供了可行的技术支持,保障了社会经济的可持续发展。

**关键词** 城市节水 节水标准 建筑节能技术 工业节水技术 工程示范 水专项

## 1 拟解决的科学问题

### 1.1 城市节水指标优化技术集成和评价体系研究与示范

研究城市的规划布局、产业结构、资源配置及市政设施建设等与城市节水的相互作用与影响机理,形成引导节水型城市建设的相关城市规划指标体系,为涉及与水资源环境条件相适应的城市可持续发展提供城市规划理论创新。

研究城市节水评价标准的各类指标优化与评价方法;基于目标效能分析,结合示范研究,构建城市节水评价指标优化技术集成体系。

### 1.2 典型高耗水工业行业节水减排关键技术与示范

研究再生水用于工业及市政景观的水量水质优化配置,建立管网水质预测模型,形成再生水利用于循环冷却水集成技术体系。建立海水淡化水合理利用模式,建立管网水质预测模型,提出非传统水源综合利用水量调度与管网水质控制关键技术。

优化水利用网络,构建工艺用水系统配置与优化网络,建立不同水质水资源梯级配置的节水优化系统。

研究基于冷凝水回用目标的水质监控关键技术,对蒸汽冷凝水回收系统进行热经济性分析,优化冷凝气回收技术,构建相应的利用体系。

国家水体污染控制与治理科技重大专项(2009ZX07317-005)。

### 1.3 城市公共与住宅建筑生活用水的节水技术、设备和器具应用研究与示范

针对多种非传统水源利用模式,提取在设计、运行管理中的关键影响因素,通过多目标优化,进行节水效能评价,提出非传统水源综合利用的关键技术体系。在对现有节水器具和设备进行筛选、识别和分类的基础上,研究其各种应用模式和推广对策。

## 2 关键技术

### 2.1 城市节水潜力分析技术

针对国内城市节水以定额管理法为主的不足,引入 DSM(需求侧管理)理论,以生活节水为突破口,研发了城市生活节水潜力分析工具,可在用水审计的基础上,遴选终端用户节水措施,逐项计算每种节水措施的投资回报期、直接与间接节水和节能的成本效益,并推荐综合节水方案。

国内城市节水潜力分析研究目前还处于起步阶段,本课题开发的“城市生活节水潜力分析工具”软件将城市用水需求管理与传统的供水活动相结合,填补了国内本领域的空白,有助于完善和改变我国城市节水以定额为主的管理方式,为节水规划、节水激励、用户自觉节水提供参考依据和方法,逐步实现与国际前沿技术接轨。

### 2.2 公共与住宅建筑节水集成技术

自主研发测试装置与试验方法,首次提出了涵盖减压节水复合技术、公建多终端节水优化技术、卫

生器具节水—排水耦合技术、用水终端节水甄别技术、集中空调系统节水技术等在内的公共建筑与住宅节水集成技术,节水、排水相耦合,突破了传统上仅考虑给水的建筑节水模式;同时,建立的测定卫生器具的排水瞬时流量和排水横管中模拟物移动速度技术方法,为节水型卫生器具的判断、选型及建筑内部排水系统的设计提供参考依据,以达到最大节水效果。座便器节水—排水耦合试验装置及试验结果分别如图 1、图 2 所示。



图 1 座便器节水—排水耦合试验装置

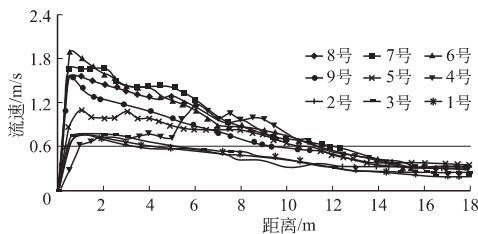


图 2 座便器节水—排水耦合试验结果

国内外现有的用水效率等级缺少与排水系统的耦合,可能引起二次冲水、管道沉积等问题,课题提出的卫生器具节水评价技术系统建立了节水型卫生器具与排水系统的相互关系、使用条件、甄别标准,为解决上述问题提供了有力的技术保障。公建和住宅建筑节能减压在国内外均有研究与实践,但综合考虑多终端、多位置、多形式的复合技术是首次提出。

### 2.3 公共建筑与住宅非传统水源利用集成技术

在非传统水源利用模式的表达与构造方面创建了三段式表达法。该方法以非传统水源建设全过程为中心,分别提供三个阶段所需的技术,包括利用方式、处理技术及优化模型的选择,可以指导我国缺水城市的公建与小区开展雨水、中水及再生水等非传统水源的综合利用,达到开源节流的目的,缓解水资源矛盾,促进当地经济的发展。对实际工程项目在非传统水源利用方面具有切实的指导作用。

根据费效、环境、社会的多目标规划模型及公共与住宅建筑主客观影响因素,建立半结构—多目标—遗传算法多水源优选与优化配置技术,使水资源的优化调配产出值最大化;通过情景分析及国内外管理模式的有机结合,建立多情景多水源利用设施的管理技术,该管理技术有利于非传统水源的扩大利用及其设施的有效运行,实现非传统水源利用建设全过程终端的最优化。三段式非传统水源利用模式、多情景多水源节水优化设计分别如图 3、图 4 所示。

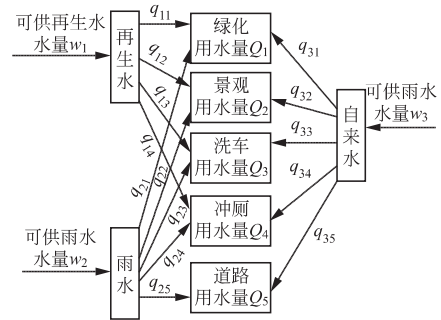


图 3 三段式非传统水源利用模式

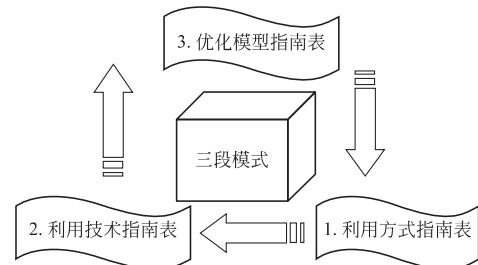


图 4 多情景多水源节水优化设计

### 2.4 电厂循环水系统规模化节水集成技术

以满足再生水用于电厂循环水系统补水水质要求为目标,研究再生水生产与输配的运行优化技术、电厂循环水水质稳定及应急控制技术,形成了包括膜处理为核心的再生水规模化生产运行优化技术、再生水输配管网水质保障技术、再生水循环冷却水质稳定技术在内的电厂再生水替代地表水规模化节水集成技术。示范工程生产运行显示,优化运行使再生水在混凝—微滤及加氯处理中,药耗降低 14%~38%,吨水成本平均降低 26.73%;循环水浓缩倍率在 4~5 倍,单位发电量再生水耗水率 1.17 m<sup>3</sup>/(MW·h),符合国家和行业标准,实现了高耗水企业规模化节水之目标。

### 2.5 沿海电厂用水网络优化与水质水量控制节水集成技术

针对沿海电厂淡化海水直接进入市政供水管网引起的管网水质问题,以及自来水、淡化水的水质特征、掺混比例及用户用水量的变化规律,提出了包括淡化水与市政管网自来水的融合技术、水质安全控制技术和综合调度技术在内的沿海电厂用水网络优化与水质控制集成技术。在国内淡化海水通过市政管网与自来水融合输配,供给工业与市政用户大规模替代自来水尚属首次,经查新检索显示,在国际上也不多见。国外利用淡化水替代地表水的情况,大多采用非金属管材进行输配,而且调质方法一般采用矿化的方式来调节碱度与硬度。我国的供水系统从投资和占地等方面不具备大面积更换管材与进行矿化后处理的条件。

课题研究提出的海水淡化水规模化替代自来水水量—水质控制技术,通过进行合理的水质及水量调度,采用掺混后调节 pH 的方式,解决了海水淡化水通过市政管网与自来水融合输配过程中水质稳定性控制的问题。该项技术已经在天津滨海新区管网运行,证明能够实现沿海地区大规模利用海水淡化水替代常规水资源,不仅促进工业、城市节水,而且在一定程度上优化城市的水资源结构,将开源与节流有机结合,其对水专项构建两大技术体系、大幅度提高沿海城市节水水平,有着巨大的现实和潜在的社会、经济效益。

海水淡化水与自来水水质融合中试现场如图 5 所示。



图 5 海水淡化水与自来水水质融合中试现场

## 2.6 硫酸法生产钛白粉用排水系统优化再生技术

该技术包括化工企业二氧化钛回收技术和用水网络分组优化技术。其中,用水网络分组优化技术总结出了硫酸法钛白粉厂的水源、水阱、关键污染物组分和极限过程数据,大大简化了数学规划法优化硫酸法钛白粉厂的步骤;同时,对钛白粉关键用水点三洗操作单元废水中二氧化钛提出的回收技术,既可以回收部分二氧化钛,其出水又可满足生产工艺一洗、二洗的进水

要求进而可以有效回用,达到节水减排的目的。

水系统集成技术在钛白粉厂的应用研究,至今尚未见报道。而硫酸法钛白粉厂某些用水单元的排水水质较好,具有很高的回用价值。钛白粉厂的废水回用,可以节约水资源,减少废水排放,有利于解决我国日益突出的水资源短缺和日趋严重的水污染问题。

## 3 标志性成果

### 3.1 城市节水评价系列标准

结合我国城市宏观以及工业企业、居民小区、单位等各类用户的节水现状与实际,运用节水评价技术,提出全国规范性政府文件 2 项——《国家节水型城市申报与考核办法》和《国家节水型城市考核标准》;地方性标准 4 项——《城镇节水评价规范 第 1 部分 通则》(DB 11/T936.1—2012)、《城镇节水评价规范 第 2 部分 机关》(DB 11/T936.2—2012)、《城镇节水评价规范 第 3 部分 工业企业》(DB 11/T936.3—2012)、《城镇节水评价规范 第 4 部分 居民小区》(DB 11/T936.4—2012);企业技术规程 1 项——《沿海电厂淡化海水规模化替代自来水技术规程》。

其中,《国家节水型城市申报与考核办法》和《国家节水型城市考核标准》,由住房和城乡建设部、国家发展和改革委员会在 2012 年 4 月正式发文(建城[2012]57 号),并作为从第六批开始,开展全国节水型城市的考核依据,切实推动并提高我国城市节水水平与节水效率。4 项北京地方标准已正式发布,于 2013 年 4 月 1 日正式实施,该系列标准在规范并指导各类用户持续开展节水工作的同时,对于全国各城市相关标准的制定和节水工作的促进,具有示范和引领作用。

### 3.2 城市节水管理决策支持系统

该系统涵盖城市节水综合技术、城市节水标准规范数据库、城市生活节水潜力分析工具软件等模块,并可拓展开节水型城市申报考核系统。其中城市节水综合技术覆盖工业节水、生活节水、公建节水和市政节水 4 个方面,全面系统地梳理了各方面用水终端的节水潜力、节水标准、节水原理和改进措施,提供了多种场景和技术组合方案。目前,城市节水标准规范数据库系统和城市生活节水潜力分析工具获得 2 项软件著作权。

### 3.3 城市公共与住宅建筑生活用水节水减排关键技术指南

该指南提出了城市公共与住宅建筑中生活用水中常用的 8 种器具与设备的选型要求及方法、11 类系统的节水设计方法以及管理维护要求等内容,广泛适用于城市新建、改建或扩建的公共与住宅建筑的节水技术设计及卫生器具、设备的选型。其相关技术成果已申请国家发明专利 3 项,已授权 1 项;实用新型专利 12 项,已授权 2 项;部分成果已成功应用于中国科学院研究生院怀柔新园区的示范工程和北京建筑大学学生宿舍楼和浴室的给水系统改造工程,并取得了显著的节水效果。

### 3.4 典型高耗水工业企业节水减排关键技术指南

该指南主要包括火电企业节水关键技术指南和硫酸法钛白粉生产企业节水关键技术指南两部分,分别针对电厂循环节水技术、再生水和海水规模化替代技术、电厂用水网络优化技术、硫酸法钛白粉厂节水技术、硫酸法钛白粉厂节水评价指标体系、典型生产废水回用技术以及日常水务管理与应急技术等内容,适用于火力发电厂和硫酸法钛白粉生产企业的节水管理与技术应用。其相关技术成果已申请国家发明专利 9 项,部分成果已成功应用于天津咸阳路再生水厂、杨柳青电厂和南京钛白化工有限责任公司,节水效益显著。

## 4 示范工程

### 4.1 天津咸阳路再生水厂与外供工业及市政景观用水示范工程

该示范工程主要针对典型高耗水电力企业生产及市政用水需求,以咸阳路再生水厂及再生水管网为依托,开展电厂循环水系统以城市再生水替代地表水实现规模化节水的集成技术与示范,达到平均供水能力 2.5 万  $\text{m}^3/\text{d}$ ,年节水能力 910 万  $\text{m}^3$  的目标。

咸阳路再生水厂的再生水生产规模为 5 万  $\text{m}^3/\text{d}$ ,处理工艺为:混凝沉淀—浸没式微滤膜—部分反渗透—臭氧/液氯消毒。以咸阳路再生水厂及咸阳路再生水管网为依托进行示范工程建设,其主要内容包括天津咸阳路再生水厂生产运行优化研究与示范、再生水厂至杨柳青电厂供水专线建设及水质保障研究与示范、再生水替代电厂循环冷却水水质稳定相关研究与示范。

### 4.2 南京钛白化工有限责任公司生产工艺冷凝气优化利用示范工程

该示范工程主要针对化工企业用水网络优化技

术、三洗生产工艺的节水改进技术等开展应用与示范研究,示范规模为 100  $\text{m}^3/\text{d}$ 。

南京钛白化工有限责任公司年生产钛白粉为 5 万 t。生产过程中,水洗单元用水量 8 000  $\text{m}^3/\text{d}$ ,以脱盐水为主的后处理水洗单元水洗量为 3 000  $\text{m}^3/\text{d}$ 。通过示范工程建设,改进三洗生产水洗工序,目前该示范工程产量规模为 100  $\text{m}^3/\text{d}$ ,水洗时间由 150 min 减少到 90 min,由 2.5 h/批次降低到(1.5~2)h/批次,脱盐单耗(三洗用水量/产量)由 46.5  $\text{m}^3/\text{t}$ (2010 年 5~10 月平均值)降低到 27.2  $\text{m}^3/\text{t}$ (2012 年 5~10 月平均值),同比平均节水率达到 41.5%,工艺节水效果明显。

### 4.3 中国科学院研究生院怀柔新园区节水技术、设备和器具示范工程

中科院怀柔研究生院是中国科学院研究生院在怀柔设立的分院,计划容纳约 10 000 名研究生在校学习与生活,建筑面积约 33 万  $\text{m}^2$ 。

该示范工程主要针对新园区的学生公寓、教学楼、图书馆等公共和住宅建筑,将公共与住宅建筑节水集成技术、卫生洁具节水评价技术、非传统水资源的优化配置技术全面示范。在学生公寓、教学楼、图书馆等建筑全面采用减压节水复合技术、多终端节水技术、集中空调节水技术,同时针对用水终端,如龙头、花洒、便器、延时自闭开关等器具,全面采用卫生洁具节水评价技术,甄别、选择最有效的器具,最大限度达到节水效果。非常规水源利用全面采用中水冲厕,运用 LID 理念,综合采用入渗、过滤、蒸发和蓄流等多种方式,对雨水进行综合利用和生态管理,优化园区景观、绿化等非常规水源利用。目前中国科学院研究生院示范工程已建设完成,西校区节水设备和器具已安装完毕并投入使用。

通过全面示范和验证,中国科学院研究生院怀柔新园区节水技术、设备和器具示范工程自来水用量降低 26%,污水排放量减少 26%,非传统水源利用率 23.8%。

## 5 结论

课题建立和完善了城市相关节水评价标准,提出了典型高耗水工业行业和城市公共与住宅建筑的节水减排关键技术指南,推广了公共与住宅建筑节水型器具,为切实提高城市节水的科技含量和节约用水水平提供了技术和决策支持;同时,通过示范地和示范

# 城市水环境系统综合评价体系研究与示范

孔祥娟<sup>1,2</sup> 杨榕<sup>2</sup> 柴宏祥<sup>1</sup> 孙永利<sup>3</sup> 戴星翼<sup>4</sup>  
卢学东<sup>5</sup> 任海静<sup>2</sup> 马涛<sup>4</sup> 冯贺<sup>5</sup> 周希安<sup>6</sup> 杨森<sup>6</sup> 刘静<sup>3</sup>

(1 重庆大学三峡库区生态环境教育部重点实验室,重庆 400045; 2 住房和城乡建设部科技发展促进中心,北京 100835;  
3 国家城市给水排水工程技术研究中心,天津 300074; 4 复旦大学环境科学与工程系,上海 200433;  
5 上海麦杰科技股份有限公司,上海 201203; 6 城市建设研究院,北京 100120)

**摘要** 以构建科学性和可操作性强的城市水环境系统综合评价体系为目标,结合我国城市水环境系统特征与现行城市水环境相关评价办法,开展了城市水环境系统相关评价指标体系调研与比较、城市水环境系统构成要素基础信息数据库构建、城市水环境系统综合评价指标体系确定、城市水环境系统综合评价网络管理平台开发、综合评价网络管理平台全过程质量控制等系统研究,突破了城市水环境系统构成要素基础指标筛选、城市水环境系统基础指标交互影响机制、城市水环境系统综合评价指标体系及评价模型构建、网络管理平台实现等关键技术,并在不同行政级别的城市、同一个省内的城市、流域城市群3种情形进行了示范应用与验证。城市水环境系统综合评价体系与网络管理平台的不断完善和推广应用,将为我国城市、城市群和流域水环境综合治理工作评价与考核提供科学依据。

**关键词** 城市 水环境系统 综合评价 网络管理平台 环境督查 水专项

## 1 拟解决的关键问题

随着我国城市化进程和城市建设速度的加快,以及城市人口和规模的不断扩大,我国绝大多数城市将面临越来越大的水资源压力,城市水环境问题已成为城市快速发展过程中新的挑战。近年来,我国在城市和流域水环境综合治理上的投入力度越来越大,并采取了大量的城市水污染控制和城市水环境质量改善措施。虽然我国已经建立了许多与水环境相关的评价指标和评价方法,但由于缺乏系统科学的指标体系、评价方法和考核工具,难以为城市、城市群和流域水环境综合治理工作评价与考核提供科学依据。

国家水体污染控制与治理科技重大专项(2009ZX07318-003)。

工程的示范作用,带动一批相关城市、工业企业和小区加大了对节水工作的投入与重视,为实现节水技术、节水器具和设备的产业化发展奠定了基础。

课题的研究和示范可以提高城市的节约用水水平,降低典型高耗水工业行业和城市公共与住宅建筑的自来水用水量和污水排放量,减轻城市治污压

针对上述问题,在国内外相关评价指标体系应用的经验和教训基础上,本课题重点对城市水环境系统的水质水量、用水与节水、城市排水管网和污水处理设施、雨污水再生利用、地表污染物控制(城市垃圾)、城市水环境管理等城市水环境系统构成要素进行详细剖析,确定了我国城市水环境系统综合评价的评价技术、方法和具体指标,构建了城市水环境系统关键要素识别的筛选模型,形成了具有描述、诊断和判断功能的城市水环境系统综合评价指标体系及其实施的督查核查方法,初步建立了可扩展的国家、省、市分级管理的城市水环境系统综合评估考核的网络管理平台及其实施的督查核查制度,并在典型示范区和代表性城市开展了试点应用。

力,健全水资源节约体制,大幅降低资源消耗强度,促进城市的节水减排。

♀ 通讯处:100044 北京市西城区展览馆路1号

E-mail:zhangyajun@bucea.edu.cn

收稿日期:2013-09-09