

文章编号: 0559-9350(2009)05-0614-09

我国生活水循环系统的分析与调控策略

褚俊英, 王浩, 王建华, 秦大庸

(中国水利水电科学研究院 水资源研究所, 北京 100038)

摘要: 在对生活用水的基本内涵、特性以及影响因子进行分析的基础上, 对三大典型生活用水单元即农村、城镇与发达城市生活用水单元的水循环结构进行了解析。通过对国内外生活用水系统的调研, 从通量、结构、质量等方面归纳了生活水循环的发展规律。在此基础上, 提出了我国生活水循环的调控目标, 并对基于水质水量耦合的多元优化调控途径进行了探索。

关键词: 生活用水; 水循环; 调控; 水质水量过程

中图分类号: TV213

文献标识码: A

生活水循环是指满足社会经济生活用水需求的水的流动过程。生活水循环与工业和农业水循环最根本的区别在于它与人们的基本生活息息相关, 是人类生存和发展的基础, 通常具有最高的优先权。当前在生活水循环领域, 国内外研究比较分散, 主要侧重于水资源在生活方面的供、用、耗、排、回等方面的个别环节的研究, 没有上升到生活水循环的整体高度, 生活水循环过程研究系统性较差。本文对生活用水系统的内涵、特性以及影响因子分析的基础上, 对典型生活用水单元的循环结构进行了解析, 从水质、水量多个层面揭示了生活水循环的发展规律, 在此基础上, 提出了生活水循环的调控目标与主要途径。该文对于流域或区域层面的生活用水预测、给排水系统规划、节水型社会建设规划等具有重要的指导意义。

1 生活用水的基本内涵与特性分析

1.1 生活用水的内涵

(1) 狭义的生活用水。狭义的生活用水主要是指满足人类饮用和日常生活的用水, 包括城镇和农村居民家庭用水, 可细分为饮用、炊事、洗涤、沐浴、清洁等用水, 在国外, 清洗汽车和户外花园浇灌也占到相当大的比重。按照用途可将其划分为三类, 即消费用水(如饮用、炊事等)、卫生用水(如个人卫生及清洁用水)和美观用水(如洗车、花园浇灌等)。农村居民家庭用水通常还包括散养畜禽的日常用水。

(2) 广义的生活用水。广义的生活用水也称为大生活用水, 即除工业以外的所有的用水, 由城镇居民家庭用水、城镇公共用水、城镇环境用水、农村居民家庭用水和牲畜用水等组成。近年来随着环境建设的改善, 城市环境用水(如市政、园林及河湖环境用水)水量逐渐增加, 逐渐从公共用水中分离出来单独统计。例如, 我国历年发布的《中国水资源公报》中, 生活用水包括了城镇居民、城镇公共用水和农村居民、牲畜用水四大部分。就城镇公共用水而言, 还可细分为生活性用水(如政府机关、学校、幼儿园、科

收稿日期: 2008-08-27

基金项目: 国家自然科学基金创新研究群体基金项目(50721006); 国家重点基础研究计划项目(2006CB403405); 国家自然科学基金项目(40830637)

作者简介: 褚俊英(1976-), 女, 山东夏津人, 博士, 主要从事节水与水资源规划与管理、水系统模拟与政策分析研究。

E-mail: jchu@whr.com

研单位等)和商业性用水(如商业、餐饮、旅馆、医疗、洗车、洗浴等),其中,前者是为满足成员生活所需的用水,与居民用水有很大的相似性;后者则把水作为一种经济成本的用水方式,水的消费量通常与用水单位的效益有很强的相关性,消费个体一般具有随机性^[1]。

1.2 生活用水的特性分析 无论狭义的生活用水还是广义的生活用水,都具有如下几个特征。

(1)需求特性。生活用水与农业、工业等生产和生态用水不同,是人类自身生存和发展不可缺少的要素,与人们的日常生活需求息息相关。人类的这种需求主要包括三大基本层次^[2],即维持人类生命的饮用水需求、维持人类健康的卫生用水需求和人类娱乐休闲用水需求(如花园浇灌等)。正是这种层次化的需求特征趋动着生活水循环的结构和层次不断演化。

(2)消耗特性。从水资源的利用方式看,与水力发电、航运、水产养殖不同,生活用水属于消耗性用水,水在利用过程中其中一部分返回水体,但水量有所减少。生活耗水量包括输漏水损失以及居民家庭和公共用水消耗和蒸发的水量。其中,城镇生活耗水量由用水量减去污水排放量计算得到,农村一般没有给排水设施,可近似认为农村生活用水量基本是耗水量;对于有给排水设施的农村,可采用典型调查确定耗水率的办法估算耗水量。据水资源公报统计,2006年我国城镇生活耗水量为117.1亿 m^3 ,耗水率^①为29%,高于工业耗水率(23%);农村生活耗水率为86%,高于农田灌溉、林牧渔和生态环境耗水率(62%、73%和58%)。

(3)健康效应。生活用水的健康效应是指生活用水对人体健康的影响。通常这种健康效应的强度与水中某种污染物的表性和数量有密切关系。当人们饮用或接触不清洁的水或用水不充分时,可能引起一系列的健康问题,主要包括如下类型^[3],①水生疾病(water-borne),如腹泻等,主要是通过防止因饮用水污染而引发肠道传染病;②水生介质传播疾病(vector-borne),如疟疾、血吸虫病等,由于水生菜系统中繁殖的昆虫和螺类进行传播;③水洗疾病(water-washed),如疥疮、沙眼等,主要由基本卫生用水(如冲洗、洗浴)的不足而使得细菌、寄生虫繁殖所致。据世界卫生组织的调查,在发展中国家,各类疾病中约8%是由于饮用了不安全、不卫生的水而传播的,每年大约有2000万人死于饮用不卫生的水^[4]。可以说,饮用水安全的问题正在日益严重地威胁着人类的健康。

(4)环境效应。在生活用水过程中,水受到人类活动的影响,其物理与化学性质发生了明显变化,简称为生活污水。通常,生活污水中通常含有泥沙、油脂、皂液、果核、纸屑和食物屑、病菌、杂物和粪尿等物质。这些物质按其化学性质来分,可分为无机物与有机物(后者约占60%);按其物理性质来分,可分为不溶性物质、胶体性物质和溶解性物质。据环境保护部统计,2006年我国排放生活污水量达296.6亿t(占我国污废水排放量的55.3%),COD为886.7万t(占排放总量的62.1%),氨氮为98.9万t(占70.0%)。通常,生活污水的水质浓度较低且稳定,较容易通过生物化学方法进行处理。

1.3 生活用水的影响因子 影响生活用水的因子多而且复杂。当前,国内外研究者主要采用计量经济学回归分析方法来识别,归纳起来,生活用水的主要影响因素有以下几个方面。

(1)人口增长与经济结构变化。城市化的快速增长、人口的增加、生活水平的提高以及经济结构的转型是20世纪生活用水量快速增长的主要驱动因素。通常,人口的增长与生活用水量的增加成正相关关系;流动人口(如游客的增加)的季节性变化也可能对特定时期的生活用水产生明显影响;第三产业特别是服务业的蓬勃发展是造成城市公共用水迅速增长的主要原因。

(2)生活水平。根据对133个以色列城镇5000人调查结果^[5],人均生活用水量与住户的平均月收入水平呈正相关关系。

(3)住户人数。住户人数或居住率对生活用水量有明显影响。根据对欧洲居民的调查,人均生活用水量与住户人数呈反比例关系,即随着住户人数的增加,人均日生活用水量呈现明显减少的趋势^[6]。

(4)季节变化。季节变化对生活用水有明显的影响,通常夏季用水量大于冬季。造成这种季节变化的原因主要是由于居民户外浇灌用水量的增加,在国内主要由于洗澡和洗衣频率的增加。

(5)价格政策。水价对生活用水的影响通常采用价格弹性表示。例如,Beecher等人^[7]考察了100多

① 消耗水量占用水量的百分比

个需水价格弹性研究,发现城市居民需水弹性在 $-0.2 \sim -0.4$ 之间。进一步的研究还表明,高峰期的水价具有较强的经济信号,其价格弹性明显高于非高峰时期^[8];夏季水价的敏感性比冬季水价敏感性高30%;户外用水相对户内用水也具有较高的价格弹性;高收入阶层相对低收入者的用水行为受水价影响较小^[9]。

(6) 节水技术水平。节水器具技术的发展与应用降低了生活用水水平。例如,根据1999年AWWARF对北美12个城市^①188户家庭的监测与调查结果^[10],没有采用节水技术的住户平均用水量为人均274.4L/d,采用节水技术的住户平均用水量为人均187.7L/d,节水率高达32%。其中,减少量最大的为便器、漏失、洗衣机和淋浴用水量。

(7) 用水设施与居住条件。生活用水量多少与给排水设施的完备性程度有着密切的关系,研究表明^[11],当给排水服务设施不可得时,人均生活用水量在5L/d以下(取水1000m,30min);当给排水设施最优可得时,人均用水量在100L/d左右及以上。在城市给排水设施充足的情况下,住宅卫生设施的完备程度对于生活用水量也有着重要的影响,随着用水设施的日益完善,人均生活用水量呈现明显增加趋势。例如,根据1992年对我国北方12个城市居民住宅用水典型测定结果^[12],仅有给水龙头的住宅用水量平均仅为53L/d,大便器、洗涤盆、淋浴设备以及热水供应设施具备住宅人均用水量可高达230L/d。

(8) 公众意识与用水习惯。根据对城市居民一些用水器具、洗浴频率等方面调查结果,受到生活水平、用水习惯等因素的影响,拘谨型、节约型和一般型用水户的人均生活用水量有明显不同,差异最大的为淋浴,其次为冲厕和厨房用水^[13]。此外,随着旅游度假村文化的兴起,农村生活用水量出现明显增加^[14]。

2 典型生活用水单元水循环结构解析

依照生活用水的基本环节与发展过程,典型的生活用水单元主要包括乡村生活单元(初级)、城镇生活单元(中级)以及发达城市生活单元(高级)。随着城市化进程的推进以及社会经济的发展,这三类用水单元之间不断地升级转化,从而推动着社会水循环系统由低级向高级不断演进。从过去以及当前看,城镇生活单元的用水模式无论从数量还是规模上都是我国生活用水的主体,发达城市生活单元系统则是我国未来一段时间生活用水单元的理想模式和高级阶段。

2.1 乡村生活单元 乡村生活单元是最为原始的生活用水模式,通常,水源是当地就近的河水、湖水、井水和泉水等。乡村人口的居住相对分散,周围的水源通常既清洁又丰富;在一些缺水地区,农民家庭劳动力往往花费一定的时间到更远的地方获取水资源。无论怎样,乡村单元中人们生活用水的模式也相对简单,通常包括“取水—用水—排水”等简单的环节。在一些边远的山区,直接利用雨水的水窖也成为解决乡村居民用水的重要途径,例如,我国西北地区发展起来的“母亲水窖”,通过屋面、场院和沟坡等设施积蓄雨水为贫困干旱地区的乡村居民生活提供水源。此外,随着流域全局性和局部性水污染的不断加重,新型农村给排水系统也发展起来。根据2003年中国科学院农业政策研究中心“农村贫困与发展”课题组对我国6个省的^②调研结果表明,我国农村的自来水普及率为43.4%,使用井水的村为42.4%,使用泉水和水窖的村为8.4%和3.4%,使用河湖、水库和其他水源的村不足2%。乡村生活单元的水循环结构如图1所示,从水源类型看,有雨水、地表水和地下水等;从污染物角度看,生活污水、人粪尿和垃圾是农村生活污染的主要来源。

2.2 城镇生活单元 进入20世纪中后期以来,全球城镇化进程不断加快,城镇人口迅猛增长,从而形成了城镇生活用水单元的基本模式。在该模式下,城镇给水与排水卫生设施的发展被认为是减少人类疾病传播、改善人类生活条件的重要措施。据统计,2000年世界60亿人中,有11亿人缺少安全的给水系

① 12个城市包括: Boulder CO, Denver CO, Eugene OR, Seattle WA, San Diego CA, Tampa FL, Las Virgenes CA, Walnut Valley CA, Phoenix AZ, Tempe and Scottsdale AZ, Waterloo Canada, Lompoc CA.

② 包括江苏、甘肃、四川、陕西、吉林、河北。

统, 24 亿人缺少足够的安全排水系统, 其中, 前者的 2/3 和后者的 3/4 集中在亚洲^[15]。与乡村生活单元不同, 城镇生活用水单元水循环系统增加了给水和污水处理, 即具有“取水—给水处理—配水—用水—污水收集—污水处理—排水”等环节, 其中前 3 个环节为给水系统, 后 3 个环节为排水系统, 如图 2 所示。从给水的类型上看, 在世界大部分城镇都是以公共管网供水为主, 但仍存在一些自备水水源形式的供水。在多数城镇地区, 给水系统和排水系统的建设并不同步, 污水收集与处理设施通常滞后于给水处理设施的建设, 从而导致城市环境问题的出现和恶化。无论是平房住户, 还是高层住宅、别墅区; 无论是城镇居民家庭用水系统, 还是学校、写字楼或宾馆用水系统, 生活用水的功能(即饮用、做饭、洗衣、洗澡、冲厕、浇灌等)基本相似, 只是在用水量结构方面有所差异, 如写字楼通常淋浴用水所占比例较小。

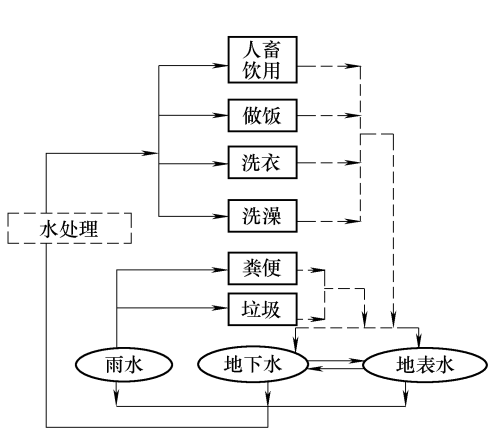


图1 乡村生活单元的水循环结构

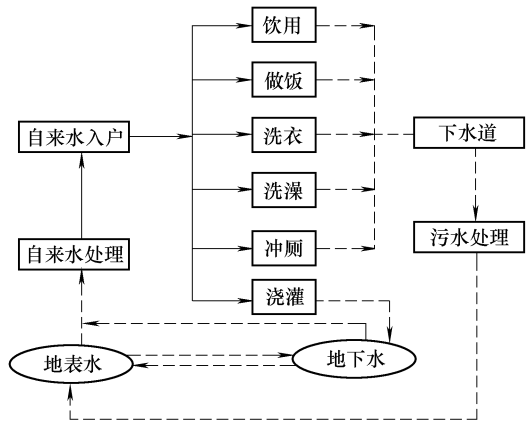


图2 城镇生活单元水循环结构

2.3 发达城市生活单元 随着城市化进程的推进和技术的进步, 发达城市单元的生活水循环结构更为复杂, 通常增加了污水处理后回用过程, 具体包括“取水—给水处理—用水—污水处理—回用—排水”等环节, 如图 3 所示, 即在城镇生活原有的生活水系统之外, 人为地构建了内部强化的水循环乃至营养物质循环体系, 以提高水资源利用的效率, 减轻对于水环境的负面效应。通常, 在发达城市生活单元中, 污水处理的深度由传统的二级处理提高到污水深度处理, 以满足再生水利用的水质要求。此外, 该用水单元相对于城镇生活单元生活水循环系统而言, 给水环节也具有多样化形式, 通常还包括雨水(海水)的利用、直饮水系统等体系^[16]。

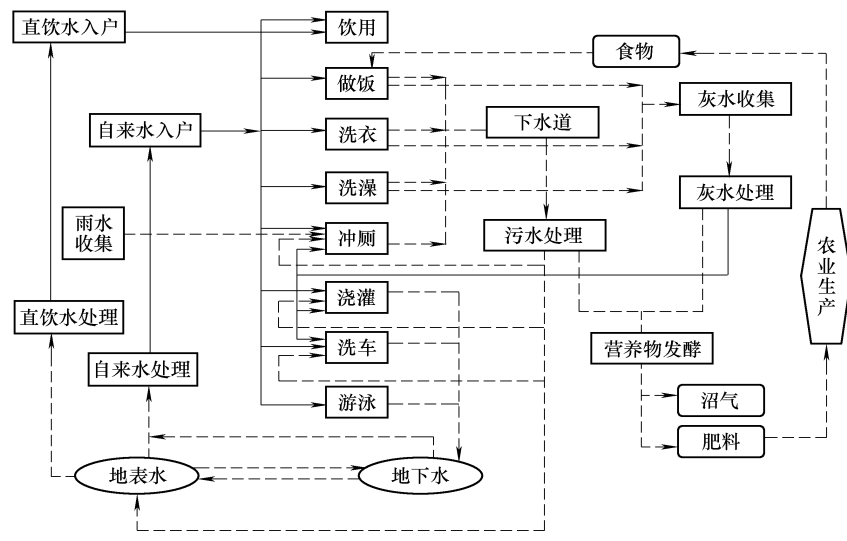


图3 发达城市生活水循环结构与流程

3 生活水循环的发展规律

3.1 用水通量规律 人们的用水需求是决定生活单元的水量演变过程的根本。从大的生活水循环的水量过程看,最初的取水与最终的排水并不完全等同,这里面除了管网系统的漏失、给排水处理过程的蒸散发外,还包括人体自身的消耗(如饮用)和用水过程中的蒸散发。由于给排水系统针对多个生活用水单元进行给水和污水的收集,并设计了具有一定安全系数的存储设施,因此,其水量随时间变化的稳定性较好,实际运行给水和污水处理量一般只是在设计范围内呈现细微的波动。对比而言,生活用水过程的水量变化复杂得多。从这种意义上,乡村生活大的水量循环过程是个体用水过程的直接体现;城镇生活和发达城市生活单元水量大的循环过程则通过给排水系统实现了一定的缓冲和稳定作用。无论乡村生活、城镇生活还是发达城市生活单元,对于生活水循环水量过程起决定作用的是人们的需求结构与用水模式。随着人们生产、生活活动的规律性,生活用水通量具有明显的时、日变化特征。

从一个更长的时期看,生活用水通量呈现“较低水平-快速增长-缓慢增长-趋于平缓”四大发展阶段,其中,缓慢增长阶段可能导致用水量的下降。具体地,(1)较低水平阶段。在社会经济发展的初期,人口较少、城市化率较低、收入水平较低、给排水设施不完善等情况下生活用水量较小的阶段;(2)快速增长阶段。随着人口的增加、收入水平的提高、给排水设施日益完善,洗浴设施、洗衣机、洗碗机、热水器具、冲水厕具等用水器具给生活带来方便和舒适之外,也带来生活用水量的急增^[17];(3)缓慢增长阶段。随着用水器具的市场渗透达到稳定、用水与节水器具的革新、政府经济政策的调整以及居民节水意识的提高,生活用水增长受到抑制而减缓甚至略为下降(出现拐点),例如德国在过去的10年中人均日生活用水量已从145L/d降低到130L/d^[6];(4)趋于平缓阶段。随着人口与城市化的发展与稳定,用水与节水技术的长足发展,加上人们节水意识和节水行为的改善,生活用水通常基本维持稳定^[18]。就我国而言,统计数据表明,从1980—2006年,生活用水量从278亿m³增加到693.8亿m³,累计增加了415.8亿m³,占全国同期用水增量的30.6%。其中城镇生活用水增加330.3亿m³,占生活用水增量的79.4%;农村生活用水量从1980年的210亿m³,也增加到2006年的295.4亿m³。从时段变化看,我国20世纪初到80年代是较低水平阶段,80年代之后为快速增长阶段,90年代至今则处于缓慢增长阶段。

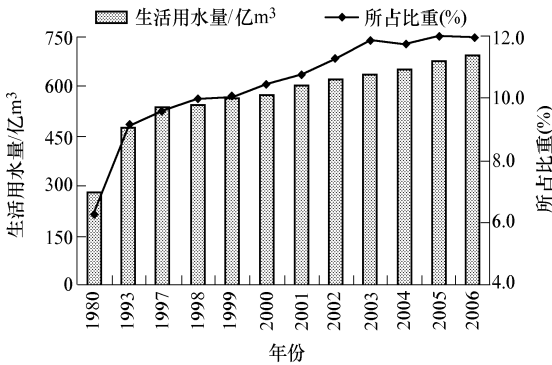


图4 1980—2006年全国生活用水量及其所占比重

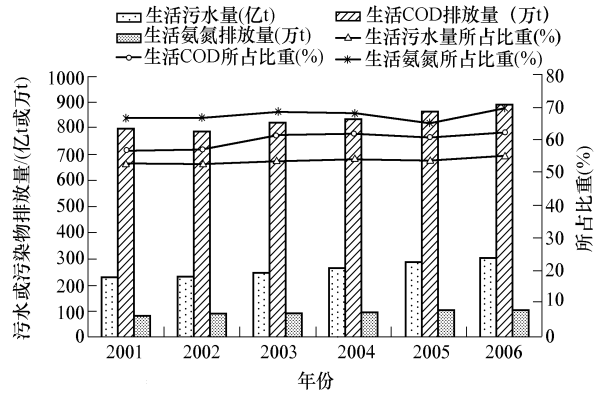


图5 2001—2006年城镇生活污水及其污染物排放现状

3.2 用水结构规律 从生活用水结构上看,主要具有如下规律:(1)生活用水相对于工农业用水而言,所占比重较小。据统计,我国自1980—2006年生活用水在总用水量中所占比重仅由6.3%增加到12.0%,其余近乎90%为农业用水和工业用水;(2)生活用水中基本生活用水所占比重较小。人类生活的消费用水量(包括饮用、炊事)基本稳定,即在10~15L/d,用于卫生 and 美化用水的用水则相对具有较大的增长空间,通常是前者的2~5倍^[9];(3)城镇生活用水比重逐步超过农村生活用水。据统计,我国自1980—2006年城镇生活用水量在生活用水中所占比重由24%上升到57%,农村生活用水则由76%下降到43%,这一方面与城镇居民生活水平较高、第三产业发展较快有着密切的关系,另一方面,随着城市

化的推进,农转非增加,推动了乡村生活用水向城镇生活用水单元转化;(4)城镇生活与城镇公共用水的比重受到城镇性质的影响。由于城镇的性质不同,城镇生活用水量中,居民生活用水量与公共用水量的结构也有很大的差异。例如,我国首都北京公共用水量较大,这与其作为我国政治、经济和社会活动的中心密不可分。

3.3 用水质量规律 在用水质量方面主要具有如下特点:(1)饮用水标准日益严格。20世纪90年代以来,随着微量分析和生物检测技术的革新进步以及流行病学的发展,对饮用水中微生物、致癌物质对人体健康的危害逐渐认识,世界卫生组织和相关机构纷纷制订了新的饮用水水质标准,如世界卫生组织的《饮用水水质准则》、欧盟的《饮用水水质指令》以及美国环保局的《国家饮用水水质标准》,我国也出台了修订后的《生活饮用水卫生标准》(GB5749-2006)。从发展趋势上看,一是水质控制指标数量逐渐增多,如WHO的饮用水标准,从I版的43项增加到III版的151项,我国也将指标数量由1985年的35项增至2006年的106项;二是指标限制越来越严格,如美国规定砷的限值由1975年的 $50\mu\text{g/L}$ 降至2001年的 $10\mu\text{g/L}$;三是更加重视微生物、消毒剂及其副产物,如美国要求自2002年1月起,饮用水中总三卤甲烷浓度由 0.1mg/L 降为 0.08mg/L ,并增加了卤乙酸的浓度不超过 0.06mg/L 的规定。(2)细分用水如饮用、卫生等的水质要求不同,这使分质供水、中水利用成为可能。

3.4 排水通量规律 在污水排放量方面具有以下特点:(1)污水排放量与城镇人口数呈正相关关系。2001-2006年,我国生活污水随着城镇人口的增加呈现缓慢上升趋势,所占比重也明显增加(见图5),计算表明,该时期生活污水排放量与城镇人口呈线性关系,相关系数为 $R^2 = 0.9791^{[20]}$ 。(2)随着再生水利用规模的增大,排入水环境中的生活污水减少。

3.5 排水质量规律 为了保证人们用水的安全和环境的健康,在生活水循环过程中,给水和污水处理都担当者削减污染物的任务,当然在削减的过程中也不可避免地可能带来二次污染。用水过程是生活污染物产生的根源,主要来自洗涤剂的使用以及人类自身的卫生与清洁要求。(1)不同服务功能的原水水质具有明显差异。不同来源生活污水的污染物特点具有明显差异,如厨房排水和冲厕排水的有机物、悬浮物含量较多,前者油脂含量较高,后者细菌病毒多;而沐浴、盥洗和洗衣排水中洗涤剂的含量较高,空调冷却排水的污染较小。从排水的污染物浓度看,厨房和厕所排水的污染物浓度较高,沐浴和盥洗排水的污染物浓度较低;居民住宅排水的 BOD_5 和SS浓度较高,宾馆饭店和办公楼浓度较低;办公楼COD浓度较高,住宅和宾馆饭店较低,这主要是由于办公楼中冲厕的频率较高所致。随着人们生活水平的提高,特别是近年来人们大量使用含磷洗涤剂,使污水磷的含量显著增加。(2)污水排入受纳水体的标准日趋严格。随着水环境问题的日益严重,排入受纳水体的水质要求日趋严格,导致生活污水处理的规模和深度不断加强。我国2001-2006年主要生活污染物排放演变如图5所示,计算表明,COD污染物的含量与城镇生活污水处理率呈明显的负相关线性关系,相关系数 $R^2 = 0.9857^{[20]}$ 。

4 生活水循环的调控目标与途径

4.1 生活水循环综合调控的目标 对生活水循环进行科学调控是实现生活水循环与自然水循环协调的重要内容。生活用水调控的根本目标在于维持健康、高效的生活水循环系统,即在保障人类发展所需的用水需求的同时,维持自然界的良好生态环境,发展人与自然和谐相处的生态文明。具体地,从水量、水质耦合的角度,生活水循环调控的目标包括用水安全、用水公平、用水高效、环境友好以及资源回收等五大方面,如图6所示。不同生活用水单元,具有不同的侧重点,例如,乡村生活单元的调控目标侧重减少用水的健康风险、公平保证基本用水;城镇生活单元的调控重点,相对于前者还增加了提高用水效率;发达城市单元的调控目标重点包括全部的五大方面。

(1)安全——减少用水的健康风险。应减少生活用水过程的健康风险,生活水循环应该保证饮用水的卫生和安全,具体包括确保饮用水与再生水的感官性状良好,防止水传染病的暴发、急性和慢性中毒以及其他健康危害。

(2)公平——公平保证基本用水。水是地球上各种生命赖以生存的基本条件,如果没有水,所有地

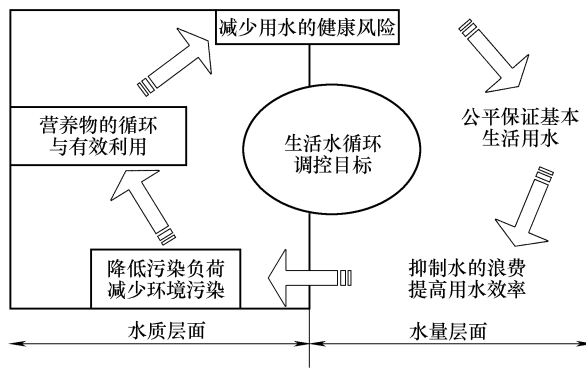


图6 生活水循环调控的系统目标

球上的生命都无法生存。供水不足是导致贫困的重要原因。当前,保障人类发展所需的基本生活用水需求已被看做是基本的人权。1977年于阿根廷马德普拉塔召开的联合国世界水会议,提出“所有的人,不管他们所处的发展阶段以及他们的社会经济状况如何,都有获得一定数量和质量饮用水满足其自身需求的同等权利”。据研究,“基本需求”不仅是指人类生存所需的饮用水(大约5L/d),还包括维持健康所需要的基本的个人卫生用水量,通常在20~50L/d之间。

(3) 节水——抑制浪费,提高用水效率。抑制用水过程的浪费、提高用水效率,是健康生活水循环的基础。应坚持循环经济的“3R原则”。其中,减量化(Reduce)包括减少生活水循环系统的漏损、利用高效节水器具、采用科学的水管理方式、推广雨水的利用、养成节约用水的良好习惯等;再利用(Reuse)包括冷却水的循环利用;再循环(Recycle)主要是指构筑中水回用系统。

(4) 减污——减少环境污染,提高处理程度。减少生活水循环中污染物向环境中的排放,是减少生活水循环的环境效应,促进其与自然水循环和谐的重要途径。具体包括,在点源方面,应减少污染负荷的产生,如不使用含磷洗涤剂,并加大生活污水的深度处理,最大限度的对污染物进行削减;在面源方面,应因地制宜的构建农村生活排水体系,完善畜禽养殖的处理系统,减少污染物的产生强度。

(5) 循环——营养物的循环与有效利用。依据现代营养物循环理论,注重营养物的循环使用与有效利用是生活水循环的创新模式,从更深层次上体现了人类发展的生态文明。这种营养物的循环与有效利用,具体包括,积极利用富含营养物的污水厂污泥作为肥料、构建污染物源头分离系统等。

4.2 生活水循环的调控途径 调控的基本原理是推动各单元生活水循环的完善以及升级,如表1所示。国内外的实践表明,生活水循环的调控,从行政、经济、技术、社会等层面采取综合的调控手段来实现,从而建立政府、市场、用户统一、高效的联动机制。

表1 不同层次和不同单元调控模式

	乡村生活单元	城市生活单元	发达城市单元
调控节点	安全饮水 卫生公厕	完善给排水设施 节约用水	完善给排水设施、节约用水 中水利用、营养物循环
调控手段	技术推广与应用 ⁽¹⁾ 宣传教育与参与	洗涤剂禁止与限制、技术推广与应用 ⁽²⁾ 经济机制、宣传教育与参与	洗涤剂禁止与限制、技术推广与应用 ⁽³⁾ 经济机制、宣传教育与参与、强制回用

注:(1)乡村集中供水、雨水集蓄利用技术;(2)节水技术、给水与污水处理先进技术;(3)节水技术、给水与污水处理先进技术、中水利用技术、源分离技术、生态厕所技术

(1) 限制生活含磷洗涤剂的使用。对含磷洗涤剂的生产和使用进行控制是20世纪70年代以来世界上普遍采用的水污染防治方法。例如,1992年联合国《关于洗涤剂中磷酸盐及其替代用品的研究》报告提出禁磷措施^[21];美国、加拿大、日本、德国和意大利等国纷纷采取禁磷措施^[22]。我国自1998年起,部分水域禁止含磷洗涤剂的销售和使用,首先是太湖流域,此后滇池、巢湖等地相继出台相关的措施和法规。从更大范围上限制生活含磷洗涤剂的使用势在必行。

(2) 建立合理的水价体系。建立城市生活用水合理的水价机制,可将生活水资源的利用同人们的直

接经济利益有机地结合起来,促使人们更加注意节约用水^[23]。统计结果显示,匈牙利1986—1996年水价年增长率接近19%,法国在1991—1996年水价年增长率约7%。从水价水平上看,当水价支出占居民可支配收入的2.5%~3.0%时,能否有效地激励消费者采取节水行为,并在承受力范围之内^[24];从水价形式上看,递增的水价形式更有利于节水。对于再生水价格,一般取低于自来水价格的50%~80%时,可从经济上有效激励用户的使用。

(3) 节水减污技术的推广与应用。包括:①推广节水高效用水设施。随着技术的革新和进步,用水器具的单次用水量逐渐减少,用水效率明显增加;安装用水计量设施也是抑制用水需求的重要技术手段。②推广海水和雨水利用技术,减少新鲜水的使用。③厨房污水净化与营养物回收。依据日本千叶县水质保护研究所的调查,为了削减生活排水的污染负荷,可以厨房为重点,对厨余物、酒、油等物质进行回收和处理,以减少生活污染物的排放。④推广生态厕所如小便分离系统、真空厕所、干式厕所等系统。⑤加大生活污水深度处理,实现再生水的利用。⑥实现污水厂污泥的营养物利用,加强污泥脱水后的堆肥农用。

(4) 加强宣传教育与公众参与。行为惯性、生活方式固定化、节水知识欠缺等通常使得人们难以采用资源节约与环境友好的行为方式^[25]。要改变人们不良的用水行为或习惯,就必须培养人们树立正确的观念,宣传和教育以及多样化公众参与机制,都有利于改善公众节水与减污的行动。

参 考 文 献:

- [1] 张雅君,冯萃敏,刘全胜.北京城市用水系统流图的研究[J].北京建筑工程学院学报,2003,19(1):28-32.
- [2] European Commission. Towards sustainable water resources management - A strategic approach[M]. Brussels: European Commission, 1998.
- [3] The United Nations. Water for People. Water for Life-UN world water development report (WWDR) [M]. Paris: UNESCO Publishing, 2003.
- [4] 李贵宝,周怀东,刘晓茹.我国生活饮用水水质标准发展趋势及特点[J].中国水利,2005(9):40-42.
- [5] Lipchin C. Water use in the southern arava valley of israel and jordan: a study of local perceptions [J]. Journal of the International Institute, 2001, 8(2):20-21.
- [6] Bradley R M. Forecasting domestic water use in rapidly urbanizing areas in asia [J]. Journal of Environmental Engineering, 2004, 130(4): 465-471.
- [7] Beecher J J, Mann P C, Hegazy Y, et al. Revenue effects of water conservation and conservation pricing: issues and practices [R]. National Regulatory Research Institute, NRRRI Report, 1994: 94-18.
- [8] Jordan J L. Pricing to encourage conservation: which price? Which rate structure[J]. Water Resources Update, 1999, 14 (Winter): 34-37.
- [9] Stallworth H. Conservation pricing of water and wastewater [EB/OL]. US EPA Water Use Efficiency Program report. 2000. <http://www.epa.gov/owm/cwfinance/cwstr/cwstr/consrvprice.pdf>.
- [10] Mayer P, DeOreo W, Opitz E, et al. Residential end uses of water[M]. Denver: AWWA Research Foundation, 1999.
- [11] Howard G, Batram J. Domestic water quantity, service level and health [M]. Switzerland: World Health Organization, 2003.
- [12] 王大哲.城市生活用水量预测方法探讨[J].西安建筑科技大学学报,1995,27(4):360-364.
- [13] GB/T 50331-2002,城市居民生活用水量标准[S].
- [14] 刘宝勤,姚治君,高迎春.北京市用水结构变化趋势及驱动力分析[J].资源科学,2003,25(2):38-43.
- [15] WHO and UNICEF. Global water supply and sanitation assessment 2000 report[M]. Geneva: WHO and UNICEF, 2000.
- [16] 杨战社,高照良.城市生态住宅小区水资源循环利用研究[J].水土保持通报,2007,27(3):167-170.
- [17] 范群芳,董增川,杜芙蓉.农业用水和生活用水效率研究与探讨[J].水利学报,2007,38(10):465-469.
- [18] 宋序彤.我国城市用水发展和用水效率分析[J].中国水利,2005(13):40-43.
- [19] Meinzen-Dick R S, Rosegrant M W. Overcoming water scarcity and quality constraints [EB/OL]. Report Provided by International Food Policy Research Institute (IFPRI) in its series 2020 vision focus with number 9. <http://www.ifpri.org/2020focus/focus09.asp>
- [20] 吴波.我国实施主要污染物减排的客观战略研究[R].北京:国家环境咨询委员会和科学技术委员会,2008.

- [21] United Nations Substitute for tripolyphosphate in detergents[M]. Newyork: United Nations Publication, 1992.
- [22] 舒金华, 黄文钰, 高锡芸, 吴延根. 发达国家禁用(限用)含磷洗衣粉的措施[J]. 湖泊科学, 1998, 10(1): 90- 96.
- [23] 张建锋, 祁水炳, 王晓昌. 城镇供水价格调整对用水特征的影响[J]. 水资源保护, 2007, 23(1): 74- 86.
- [24] 褚俊英. 城市节水与污水再生利用的潜力分析[D]. 北京: 清华大学, 2004.
- [25] Randolph B, Troy P. Attitudes to conservation and water consumption[J]. Environmental Science & Policy, 2008(2): 441- 455.

Domestic water cycle system and its regulatory strategies in China

CHU Jun-ying, WANG Hao, WANG Jian-hua, QIN Da-yong
(China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China)

Abstract: The connotation, characteristics and influencing factors of domestic water use are analyzed. On this basis, the structures of water cycle for three typical patterns of domestic water use including the rural domestic water use, urban domestic water use and metropolitan domestic water use are discussed. According to the investigation on the existing domestic water cycles both in China and in abroad, the principles of development are concluded from the view points of both quantity and quality. The objectives of regulation on domestic cycle system and the corresponding regulatory strategies based on multiple regulation approaches aiming at the target of establishing a healthy domestic water cycle system in China are suggested.

Key words: domestic water use; water cycle system; regulation; strategy; water quantity and water quality

(责任编辑: 王成丽)

(上接第 613 页)

Evaluation method of urban water security assurance capability for emergency rescue based on similarity measure of Vague sets

LI Yong, ZHU Ming, LI Jia
(Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: The urban water security assurance system for emergency rescue possesses the characteristics of complex, changeable and fuzzy. A model for comprehensively evaluating the urban security assurance capability for emergency rescue based on similarity measure of Vague sets is proposed. The model is applied to evaluate the assurance capability of the Chengdu City. The indicator system for evaluation is established which includes the layers of objectives, criteria and indicators, and the criteria layer has 7 evaluation dimensions. The weights of the indicators are determined by AHP method and Dephi method. The assurance capabilities under 5 designed working conditions are evaluated, and the disposal rate of pollution accident is chosen as a controllable factors. The application result shows that the proposed model can effectively evaluate the security assurance capability for emergency rescue of a city. For the Chengdu City, the elevation of disposal rate of pollution accident can effectively improve the assurance capability.

Key words: vague sets; urban water security; assurance capability; comprehensive evaluation; disposal rate of pollution accident; Chengdu City

(责任编辑: 韩 昆)