

绿色  
广场

# 以城市水资源循环模式 应对水生态安全问题

薛雄志 程华晶

城市是人类发展的必然产物,是社会走向现代化的必然阶段。自上世纪以来,全世界城市化潮流势不可挡。城市化的发展,使一大批城市和城市群涌现出来,这种大规模城市扩张在带来经济发展的同时,也带来了一系列严重的生态环境问题。城市水资源问题便是其中之一。

水资源是城市生态与社会经济的重要支撑因子,其本身是可以再生和循环利用的自然资源。但是城市化的发展对城市水资源和水环境产生了剧烈影响,破坏了水资源的自然循环规律,超出了水资源承载力和自我修复的范围,不仅威胁到了城市水生态安全,也威胁到了城市的生产生活用水安全。水资源问题已经成为制约城市发展的重要因素。

对城市水资源问题的解决目前也有较多的研究,但主要集中于研究具体某个城市水资源利用有关环节中的问题,且较多地从供应角度探讨解决水资源短缺问题的对策措施,缺少一些共性问题的探讨;在研究尺度上也往往局限于城市社会用水的范围,缺乏社会与自然的综合考虑。可持续发展和循环经济理念的提出对资源利用提出了更高的要求,也给我们解决城市水问题提供了一个新的思路。本文试图在可持续发展的背景下,以循环经济为指导,对现有的城市水资源系统进行重构,提出城市水资源循环模式,通过恢复水资源社会系统与自然系统的良性循环,从根本上解决城市的水资源问题,维护城市水生态安全,实现城市水资源的可持续利用。

## 城市化带来的水资源与水生态安全问题

城市的发展离不开水,水资源是城市生态系统的一个重要组成部分。从工业化时代至今,城市化的进程也伴随着水资源的大量消耗和废弃,伴随着水环境的严重污染和破坏。20世纪70年代以前,我国的城市化水平较低,水的稀缺性和水问题并未显现。改革开放以后,我国的城市化进程明显加快,1980年城市化水平为19.4%,2000年已经迅速上升到36.2%,预计到2020年城市化水平可达到50%左右。城市化进程的加快使当今全世界共同关注的“人口”、“资源”、“环境”和“灾害”等城市问题逐渐显现,而由“水灾害加剧、水资源紧缺、水环境恶化”所构成的城市水资源危机特别突出,成为困扰我国社会经济可持续发展的重要制约因素,并呈加重趋势。

### 1、水灾害加剧

在急于追求建设现代化城市的过程中,城市铺设了大量不透水的硬化地面,雨水无法下渗,使水资源自然循环缺失了重要的一环,从而引发了城市环境连锁负效应。一方面,大量的不透水表面阻断了雨水下渗,使得因过度抽取地下水而极度缺水的土地得不到水源的补充;另一方面,降水渗透损失率降低,降水径流量增大,降雨的表面流出在短时间内汇集,极易引发城市洪灾。2004年7月北京暴雨积水成灾就是一个现实的例子,“渴”坏了的北京,多喂点水又“呛”坏了,这种脆弱的“身体”折射

出了现代城市建设中存在的问题，不得不令人反思。

## 2、水资源紧缺

城市水资源紧缺分“资源型”和“水质型”缺水。城市化最主要的特征是人口与资源需求的高度集中，由于近年城市的膨胀式发展，水资源早已不堪重负，加上资源没有价值体现的市场运营造成的对水资源的掠夺式开发，引发的后果已经显现出来：全国 600 多座城市中，缺水城市占 400 多座，其中 110 座城市严重缺水，许多大城市长期处于用水紧张状态，水资源短缺已成为国民经济和社会发展的最大制约因素。另外，城市化进程加快、人类活动加剧导致水环境恶化，从而引发“水质型”缺水，使本来就紧缺的淡水资源因污染而丧失使用价值，更加重了水资源的紧缺程度。

## 3、水环境恶化

城市水环境恶化，一方面是指由于城市建设和水资源紧缺，城市占用了生态用水，破坏了水资源的自然循环，使得城市及其周边地区的水域逐渐干涸并退化，逐渐失去了亲水景观。另一方面是指城市化进程中，工业污水与居民生活污水排放量增加，造成城市及其周边水域水质的普遍恶化。据全国环境统计公报，2004 年城市工业废水排放达标率为 90.7%，生活污水处理率为 32.3%，仍有大量的污水直接排放到了水体中。严重的水污染不仅降低了水体的使用功能，进一步加剧了水资源短缺的矛盾，也严重威胁到城市居民的饮水安全和身体健康，威胁到城市的水生态安全。

1992 年联合国环境和发展大会上通过的《二十一世纪议程》中提到：“淡水是一种有限资源，不仅为维持地球陆上一切生命所需，且对一切社会经济部门都具有生死攸关的重要意义。”这一切表明水资源危机已成为制约城市发展并深深困扰人类的生存与发展的重要因素。因此，如何应对水资源危机与水生态安全问题已经成为每个城市发展所必需面对和解决的问题。

## 城市水资源循环模式探讨

水是可以再生和循环利用的自然资源。水的循环包括自然循环和社会循环，水的社会循环依赖于

自然循环，又对自然循环产生影响，两者相互交织，密不可分。如果在水的社会循环中，能够注意适度开采，重视污染控制，考虑环境影响，遵循水的自然循环规律，那么就会减少人类活动给水循环带来的负面影响，使之控制在水资源可以承受和自我修复的范围之内，从而达到让自然界有限的淡水资源能够为人类重复地、持续地利用。

但是过去的水资源建设工程主要考虑防洪减灾和水资源开发利用两个内容，并且往往是就工程论工程，对于工程建设对生态环境的影响很少考虑，缺乏一种与自然和谐的思想，因此对水资源自然循环造成了很大损害。随着社会的发展，水资源短缺的矛盾和水生态安全的问题日益突现，人们对水资源的数量和质量的要求也越来越高，在这样的形势下，为了实现水资源的持续利用，我们必须对原来的指导思想和做法进行改变。而作为可持续发展具体实践模式的循环经济理念为水资源开发和利用提供了新的思路。

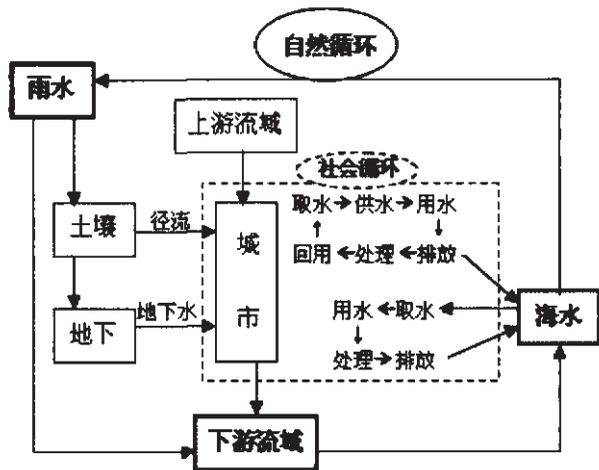
### 1、循环经济理论

循环经济是以合理、持续的利用物质和能源为目的，把清洁生产和废物的综合利用融为一体的生态经济形式，它与传统的末端治理有着本质差别，是一种全新的生产生活方式。其理念是从生产和消费的源头控制废物产生，实行废物资源化。循环经济遵循“3R”原则：减量化，要求生产和消费过程中减少物质和能源的消耗；再利用，尽可能多次或以多种方式使用物品，避免物品过早成为垃圾；资源化，把废物再次变成资源，以减少最终处理量。循环经济使传统的高能耗、高污染的经济增长模式转变成以清洁生产和废弃物综合利用为基础，以资源循环利用和环境良好保护为基本特征的新型经济发展模式。

### 2、城市水资源循环模式

水资源作为人类生存与社会发展的支撑因子，其使用状态以及水资源系统结构与功能的完善与社会经济系统的调控密不可分。要实现水资源的可持续发展，就必须通过城市社会经济系统的调控，使水资源系统结构合理稳定，运转持续有序，实现整体功能最优和系统持久发展，从而达到社会、经济 and 环境的协调发展。

城市水资源循环模式就是城市社会经济系统调控下的新的水资源利用方式,它是在城市需水量日益增加而供水难度日渐增大的现实情况下,以循环经济为指导,通过增加非常规水资源的利用,对原来水资源系统进行重构和完善,通过使水资源系统恢复良性循环来解决城市的水危机和水污染,具体如下图。



城市水资源循环模式图

城市水资源循环模式包括社会循环和自然循环两个层次:

(1) 社会循环层次,就是要实现水质水量两个控制目标:通过对水资源进行综合配置,逐步减少淡水资源的需求量,使之控制在水资源承载能力之内;同时最大限度地实现水的净化和循环利用,使排放的水质控制在环境自净能力之内。通过对水质和水量的联合控制,对原来水资源社会循环中不合理的部分进行调整,将以满足经济活动为主的社会循环对自然循环的影响控制在最优的范围内,并使之遵循自然规律,从而实现社会与自然的和谐相处。

对城市水资源系统而言,要实现水质水量的联合控制,就必须加大非常规水资源(中水、海水和雨水)的利用。首先,挖掘非常规水资源的使用价值,替代和节约宝贵的淡水资源,减少淡水的需求量。如开展中水回用、雨水利用、海水利用等,逐步实现分质供水,建立集约化和经济化的用水方式。其次,通过循环利用,提高水资源利用率,同时减少污水排放,切实保护水环境。海纳百川,同时也是各种污

染物的最终聚集地,保护城市水环境也就是保护海洋。未来是海洋经济的时代,我们必须切实保护好这一未来发展的优势资源,为未来海水利用做好准备,不能犯“先污染后治理”的错误。再次,提高供水安全性。加大对雨水集蓄、海水淡化等的研究,对原来仅靠淡水的单一供水模式进行补充,开辟多条供水渠道,提高城市供水系统安全性和抗风险能力。一旦淡水供水系统出现突发事件(如水源地污染、地震、战争等)无法正常供水,还可以通过其他水源进行应急供水,保障人民的生命安全。

随着城市水资源循环模式的日渐完善,将逐渐增大非常规水资源的使用量,并结合城市的用水构成,逐步建立分质供水机制,使城市发展增加的需水量通过系统自身节约用水、提高循环利用率和优化配置来实现。通过社会循环层次的调控,最终建立起一个水种丰富、比例稳定、完全在当地水资源承载能力之内的、具有良好生态效益和社会效益、能自我调节和发展的成熟的水资源系统,为和谐社会的建立提供优质水源保障。

(2) 自然循环层次,在进行工程设计和建设时,要尊重自然界水循环规律,同时通过经济、立法、工程技术等手段调整以往工程建设对水资源系统的干扰,逐步修复水的自然循环系统,使其达到良性循环,实现永续利用。

对于城市水资源系统而言,首要的就是修复雨水水文循环系统。雨水是自然界水循环中的重要环节,也是城市水系统健康循环不可缺少的途径。通过增加雨水渗透和贮存修复雨水水文循环途径,从而削减暴雨径流,减少城市型洪水灾害;同时还可以涵养地下水源、增加及改善河流水质、维系河川与两岸的生态繁茂,对补充地区水资源和调节生态环境发挥其应有的重要作用。同时,通过从源头对水污染进行控制,逐步修复受污染和受破坏的城市水环境,建立亲水自然景观,使城市发展与生态保护互不偏废,相得益彰。对污染的控制和对水环境的修复也最终保护了海洋环境,至此实现了水资源系统通畅和健康的海陆空大循环。

综上所述,水资源循环模式就是以水质水量的联合调度为中心,通过非常规水资源的开发利用和水资源的优化配置,减少淡水需求量,使用水量不

超过水资源承载能力,使水质不超过环境自净能力,逐步恢复水资源的自然良性循环,使城市水资源系统能真正实现保证水资源供需平衡,保护水生态系统,防洪减灾三大功能,从而从根本上解决城市水危机,实现社会经济和资源环境永续和谐发展。

### (3) 水资源循环模式的操作原则

**节约用水原则。**配置、节约、保护是城市水资源循环模式的核心内容,而节约是配置的前提,没有节约就谈不上优化配置。目前的水资源形势是资源性的短缺与使用上的浪费并存,在循环经济的理念下,要贯彻节水就是防污的治污观点。我们来看一下 1t 水的产生和处理需要多大投入:按平均水平看,水源地的投入为 1000-2000 元/t,自来水厂投入为 1000-1500 元/t,供水管网投入为 1000-1500 元/t,污水收集管网的投入为 1500-2000 元/t,污水处理厂的投入约为 2000-3000 元/t,这样使用 1t 水用后处理达标返回江河,保护自然环境,保护水生态系统的总投入就达 8000 元/t 以上。由此可见,节约用水不仅节约了宝贵的水资源,也在无形之中产生了巨大的经济效益,是城市水资源循环经济的需要,也是建设节约型社会的需要。

**再利用原则。**水既是公共物品,又是经济物品,因此可以在城市水资源循环模式中引入产品生命周期的概念,尽量延长水的使用时间。此外,增加服务强度也相当于延长产品的生命周期。例如在相同的生命周期内,增加服务的对象,也在无形当中

节约了其他水资源的使用,亦相当于延长了生命周期。

**循环利用原则。**尽管城市水资源循环模式通过非常规水资源的利用,增加供水来源和数量,但是社会经济用水需求不能靠一味扩大供水来满足,必须走提高水资源利用效率的内涵式发展道路,城市发展增加的需水量通过系统自身提高循环利用率和优化配置来实现,走集约化、高效化的道路,争取用最少的水满足社会经济发展的要求。

### 3、城市水资源循环模式的意义

水是万物之源,也是城市的活力所在。城市水资源循环模式将整个城市水资源纳入统一协调的资源循环体系中,通过对水质水量的联合调度和水资源配置、节约和保护的综合考虑,使水资源社会循环和自然循环健康通畅,从而使城市化进程中带来的“水灾害加剧、水资源紧缺、水环境恶化”的城市水危机与经济高速发展的内在矛盾得以根本解决,保护水生态安全,促进社会经济和资源环境的永续和谐发展。

改革开放以来,我国在经历了经济快速发展的阶段以后,已进入大范围生态退化和复合型环境污染的新阶段。为了解决日益严重的环境问题和新一轮发展即将带来的巨大生态和环境压力,我国已将建设资源节约型和环境友好型社会确定为国民经济与社会发展中长期规划的一项战略任务,强调人类必须将其生产和生活强度规范在生态环境的承载力范围之内,强调必须综合运用技术、经济、管理等多种措施降低经济社会的环境影响,以此实现人类活动与自然生态系统协调可持续发展。这一战略的提出也为城市的发展指明方向,构建人与自然和谐共生的生态型城市是大势所趋。因此,城市水资源循环模式的提出,对于节约型和环境友好型社会的建设将具有积极的实践意义,通过以后的不断改进和完善,必将为人与环境良性互动、人与自然和谐发展的美好理想的实现做出有益的探索。

(作者单位:厦门大学海洋与海岸带发展研究院)

