

水环境恢复与城市水系统健康循环研究

张杰¹, 李冬²

(1. 哈尔滨工业大学市政环境学院, 哈尔滨 150090; 2. 北京工业大学水质科学与水环境恢复重点实验室, 北京 100124)

[摘要] 研究了地球上水文循环及社会水循环的规律和互动关系,指出水环境、水资源和水循环是地球上水汽运动的统一体,剖析了当代水危机的根源,提出水环境恢复和社会用水健康循环理论及实施方略,并在多座城市水系统规划应用中取得了良好效果。

[关键词] 城市;水环境;水系统;健康循环

[中图分类号] X82 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2012)03-0021-06

1 前言

18世纪工业革命之后,尤其是近半个世纪以来,人类采取的是无度消费、大量废弃的生产、生活方式,时至今日大自然已不堪重负,人类的生存发展受到威胁。2002年5月22日,联合国环境规划署指出:“目前全球一半的河流水量大幅减少或被严重污染,世界上约80个国家,占全球40%的人口严重缺水。如果这一趋势得不到遏制,今后30年内,全球55%以上的人口将面临水荒。”

我国政府历来重视水污染防治,但从“谁污染谁治理”、“三同时”、“淮河零点行动”一直到“三河三湖治理”都未见显效。半个世纪过去了,我国江河污染年年加重,至今仍然如是说:“水环境污染在局部有所改善,但全国河川污染的总趋势尚未得到遏制……”

实际上,全面性的水危机已经迫在眉睫。今天我们应清醒地看到,只有寻求人与自然水环境相和谐的道路,规范人类社会的水事活动,不破坏自然水文循环规律,实现社会用水的健康循环,人类社会才能得以持续发展。

2 水循环规律

2.1 自然水文循环

在太阳辐射和地心引力的作用下,地球上的水分在水圈、大气圈、岩石圈进行着周而复始的运动。地球上水的这种周而复始的运动称之为自然水文循环,如图1所示。

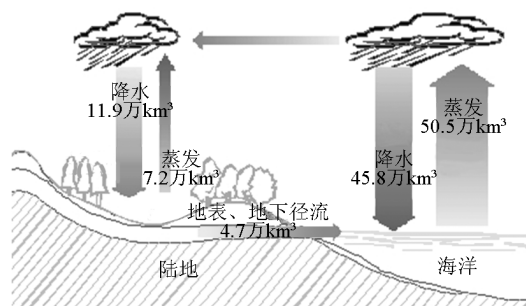


图1 全球水文循环的水量平衡

Fig.1 Natural circulation of water

全球水的总量为 $1.4 \times 10^9 \text{ km}^3$, 年水文循环总量不过 $5.77 \times 10^5 \text{ km}^3$, 等于全球蒸发量总和或降水量总和, 占全球总水量的万分之四。每年陆地蒸发量为 $7.2 \times 10^4 \text{ km}^3$, 而降水量为 $1.19 \times 10^5 \text{ km}^3$; 海洋蒸发量为 $5.05 \times 10^5 \text{ km}^3$, 降水量为 $4.58 \times 10^5 \text{ km}^3$ 。海洋蒸发量大于降水量, 陆地蒸发量小于降水量, 这样陆地就形成地下与地表径流, 汇成大江

[收稿日期] 2011-11-10

[作者简介] 张杰(1938-),男,辽宁本溪市人,中国工程院院士,长期从事给水排水研究;E-mail: 6282031@163.com

大河流归海洋。其径流总量为 $4.7 \times 10^4 \text{ km}^3$, 是陆地降水量与蒸发量之差, 为全球总水量的十万分之三。水的蒸发、输送、降水、渗透、径流、再蒸发的自然循环过程, 把大气圈、水圈、岩石圈、生物圈有机联系起来, 不断地更新着地球上的各种水体, 保持着水质、水量的动态平衡, 造就了健康的水环境, 滋哺着万物欣欣向荣的生态系统, 也为人类提供了生存的物质基础。

2.2 社会水循环

在自然水文循环中, 人类不断利用地表、地下径

流满足生活和生产之需而形成的人工水循环称为社会水循环。城市的供排水系统、农田水利系统、水能利用系统都是社会水循环。

就城市水系统而言, 包括自然水采取、净化、供应的给水系统和废水收集、处理再生和放流的排水系统, 如图 2 所示。水好像城市的血液, 给水系统和排水系统好像是动脉和静脉, 进行着城市血液的循环, 是一个统一的有机循环系统, 动、静脉不可偏废一方。

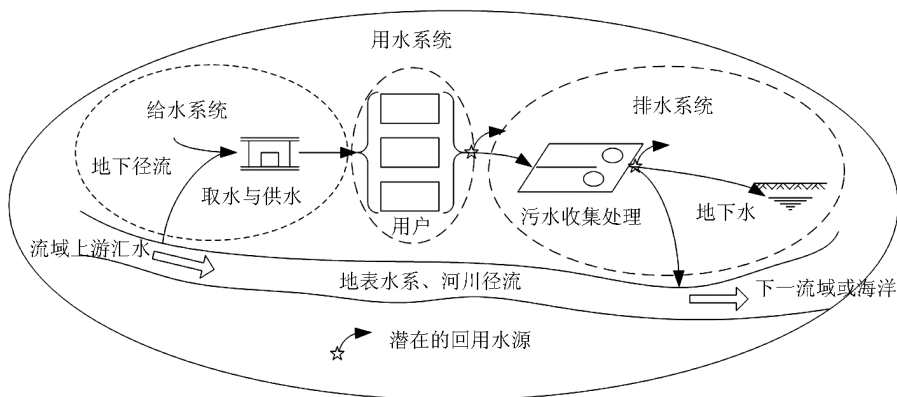


图 2 水的社会循环(城市水系统循环)

Fig. 2 Social circulation of water (urban water system circulation)

2.3 社会水循环与自然水文循环的互动关系

社会水循环是自然水文循环的一个附加部分, 是一个带有人类印记的特殊水循环类型, 它依附于

地球自然水循环之下, 并且相互产生着强烈的交流作用。社会水循环与自然水循环组成了一个复合的地球水循环大系统, 如图 3 所示。

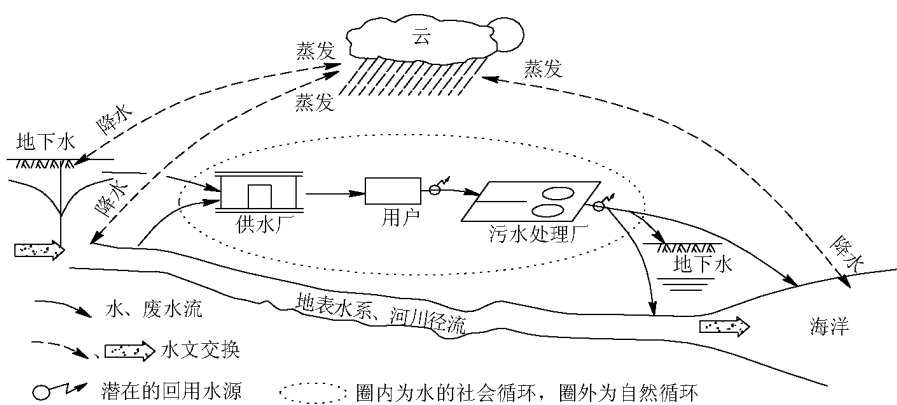


图 3 复合的地球水循环大系统

Fig. 3 The complex water cycle system on earth

3 水短缺、水污染、水危机的根源

3.1 现代人口膨胀

在人类诞生后的几百万年间,人类人口一直很少,直到1850年世界人口达10亿,80年之后1930年翻了一番达20亿,又经历45年到1975年再翻一番达40亿,而1999年人口达60亿,现正以每年5500万的速度增长。人口膨胀使地球环境和资源面临巨大的压力,是水危机的终极根源。

3.2 二元论的自然观

我国古代朴实的自然观是唯物主义的,认为人与自然和谐共存,人类社会要服从自然的规律,古代先哲、道教创始人老子主张“天人合一”。当今在现代科学与技术的支撑下,人类认为自己是自然的主宰,所谓“人定胜天”。二元论的自然观是水危机的社会思想根源。

3.3 无度采取、低效利用和高污染排放

在二元论的自然观的指导下,人们为谋求最大经济利益,无度取用、粗放利用水资源,然后高污染排放,是导致水短缺、水污染、水危机的直接原因。

百年来,人类大肆进行水事活动,在给人们带来巨大的能源和生产效益的同时,这把“双刃剑”带来的灾难也日益凸显出来。

咸海是世界上最大的内陆咸水湖,是阿姆河和锡尔河的归宿。20世纪50年代,由于在两河上游修建水库、开挖河渠、扩大灌溉面积,使两河入海量由 5.48×10^9 亿 m^3 /年,逐年减少。到1974年,阿姆河入海量减少了37.5%,锡尔河几乎没有长年入海径流,致使水位下降7m,海面面积缩小了 1.5×10^4 km²,鱼产量由1965年的 4.8×10^7 kg,减少到1978年的 4×10^6 kg。

埃及阿斯旺灌溉水系统的形成,引起土壤盐碱化面积以惊人的速度增长;非洲血吸虫病和疟疾则成为了埃及长期的灾难;东地中海的海洋生物也因缺少尼罗河泥沙中的营养成分,浮游生物减少了1/3,致使埃及的渔业遭受巨大损失。

人类活动对水质破坏的事例比比皆是,一座工厂、一座城市污染一条河流的现象屡见不鲜。中国七大水系的V类水体和劣V类水体已占全部江段的25%。巢湖、滇池、太湖藻类疯长,近海海域赤潮发生频率和面积逐年大幅增长,城市地下水普遍污染,断流、污染、饮水短缺在我国普遍存在……社会水循环已给予了自然水文循环强烈的冲击。

然而,只要人类的社会水循环尊重自然水文循环的规律,并与自然水文循环和谐,自然水文循环就可得以生息,水环境得以恢复,水资源就可以持续利用。

4 社会用水健康循环理念的建立

面对人们大量排放污水和抛弃废物、滥施农药与化肥造成的世界水危机,我们提出了“社会用水健康循环”的理念。所谓社会用水健康循环,第一是指在社会水循环中,尊重水的自然运动规律,合理科学地使用水资源,不过量开采水资源,同时将使用过的废水经过再生净化,成为下游水资源的一部分,使得上游地区的用水循环不影响下游地区的水体功能,水的社会循环不破坏自然水文循环的客观规律,从而维系或恢复城市乃至流域的健康水环境,实现水资源的可持续利用;第二是指社会物质流循环中,不切断、不损害植物营养素的自然循环,不产生营养物质物质的流失,不积累于自然水系而损害水环境。这样就可实现人类活动与自然水环境相统一,达到“天人合一”的境界。

根据社会用水健康循环的理念,人类社会用水必须从“无度开采→低效率利用→高污染排放”的直线型用水模式转变为“节制取水→高效利用→污水再生、再利用、再循环”的循环型用水模式,使流域内城市群间能够实现水资源的重复与循环利用,共享健康水环境,使水的社会循环和谐地纳入水的自然循环之中。

5 社会用水健康循环理念的理论基础

1)水是循环性资源,水是可再生性资源。因此,我们在生活、工业、农业中用过的水是可以再生循环利用的,上游的排放水可以作为下游水资源的一部分。

2)在社会发展与环境资源尖锐矛盾面前,我们寻求可持续发展的道路。

从20世纪50年代福格特的《生存之路》、卡逊的《寂静的春天》开始,人们便认识到人类的社会发展与自然环境的矛盾。1972年,斯德哥尔摩世界环境会议公布《人类环境宣言》,同年罗马俱乐部发表《增长极限》,1982年世界环境与发展委员会成立,并发表《我们共同的未来》,一直到1992年世界首脑会议公布《里约环境与发展宣言》和《21世纪议程》,人们逐步建立和完善了可持续发展的战略。

从 20 世纪 60 年代鲍尔丁《宇宙飞船的经济观》发展到现在以生态学规律指导人类经济活动的循环经济理论,为可持续发展找到了一条有效途径。

社会用水健康循环正是循环经济的“3R”原则——减量化(reduce)、再使用(reuse)和再循环(recycle)在水资源上的具体体现,社会用水健康循环是建立循环型社会的基础。

6 社会用水健康循环和水环境恢复的方略体系

我们分析了地球上自然水文循环和人类社会用水循环的规律及其互动关系,找出了当代水危机的根源。在此基础上,应用生态学原理和系统科学理论制订了社会用水健康循环和流域水环境恢复方略,构筑了方针、策略体系,如图 4 所示。

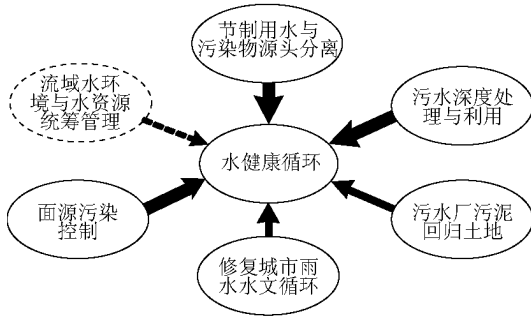


图 4 社会用水健康循环和水环境恢复方略

Fig. 4 Strategy of social water healthy cycle and water environment recovery

1) 节制用水与污染物源头分离。在水资源开发利用中,不仅要节约用水,更要在宏观上控制社会水循环的流量,有节制地开发水资源;同时建立和发展广大城镇和农村、工业和农业污染物源头分离的政策和技术。

2) 城市污水再生、再利用、再循环。污水是宝贵的淡水资源,高质量的再生水是城市和下游城市水资源的一部分。污水再生、再循环带来了水资源和水环境双层效益,是社会用水健康循环的核心方略。

3) 污泥回归农田。污水厂的污泥富含植物营养素,其正当归宿应遵循营养盐循环规律,作农业肥料,这是流域水环境恢复和农业可持续发展的必由之路。

4) 恢复城市雨水水文循环。恢复雨水自然循环途径,增强渗透和储存,免除城市型洪涝灾害,提

高枯水期河水流量和地下水位都是增加可利用水资源的有效途径。

5) 大力削减面污染负荷。提倡生态型农业肥料和无毒、少毒农药,减少农田径流污染;广大乡镇人畜排泄物和畜禽养殖业废弃物要由污染源变成肥源。

6) 建立科学的流域综合管理模式。

7 城市排水系统功能的变革和循环型城市水系统

7.1 城市排水系统发展史

早在 5 000 年前的古城池就有雨水排水系统,直到 19 世纪,在这漫的长历史时期,排水系统的功能都是排除城区雨水、防止内涝,并且禁止向雨水道中排放污水。

19 世纪 30~50 年代,由于人口密集,城市卫生条件恶劣,霍乱、伤寒等流行病蔓延整个欧洲,成千上万人失去了生命,于是 18 世纪发明的水冲厕所在 19 世纪中期开始广泛使用。水冲厕所改善了城市居民的卫生条件,城市用水量迅速增加,才准许污水排入下水道,城市排水系统的功能发展为排除雨水、污水到城区之外,维系居民的健康卫生条件。但是城市居民的舒适生活条件是以牺牲河流水质为代价的,莱茵河曾一度成为欧洲最大的下水道。

到 20 世纪 20 年代,由于河流的普遍污染,伤寒等疾病又流行于人间。人们开始建立城市污水处理工程,并且污水处理深度和去除污染物对象随年代的推移不断增加。城市排水系统的功能发展为雨水、污水收集、处理与排除,改善城区生活卫生条件和防止水系污染。

7.2 城市排水系统功能的革命

近半个世纪以来,人口和城市化率骤增,水短缺、水污染、水危机在各地区出现。为了水环境恢复和水资源的可持续利用,排水系统必须革命。它的功能应升华为污水再生、再循环和植物营养素循环利用的纽带,能源与物资的回收基地。

7.3 循环型城市水系统的模式

人类在经历了几千年农耕时代和现代的快速的发展之后,越来越认识到,解决资源短缺和可持续发展问题的唯一出路是建立循环型社会,其中水的健康循环是循环型社会的基础。在循环型城市水系统中不但有安全可靠的供水系统,还有完善的污水再生利用系统和污泥回归农田的系统。自然水从采取到

排放入下游水体之前,已被高效利用多次,排放的也是高质量的再生水,并通过高质量再生水将社会用

水循环与自然水文循环和谐地联系起来。循环型城市给排水系统的模式如图5所示。

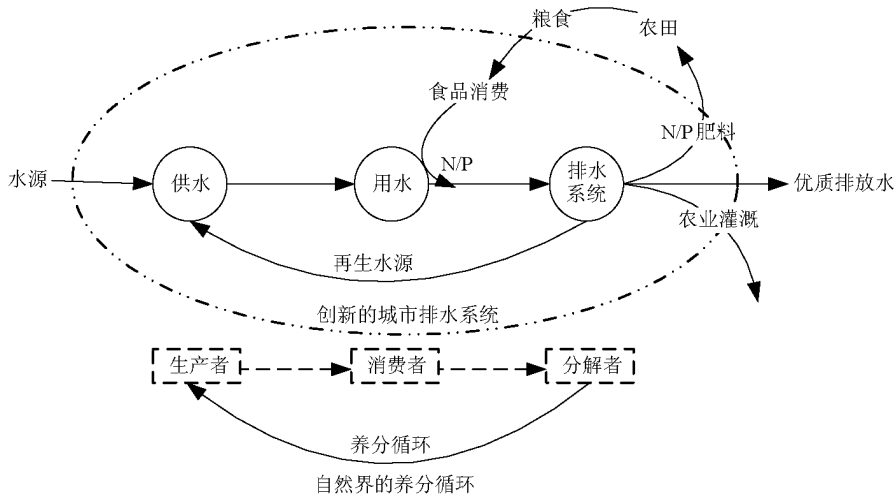


图5 循环型城市给排水系统的模式

Fig. 5 Model of urban recycling water systems

这样在一个流域内城市群间上、下游共享水资源,兼顾人类和河流生态用水,充分体现着流域水资源利用的公平性、共享性和人与自然的和谐,能保证河流生命和富有活力的生态系统。

循环型城市水系统的模式保证了每个城市均可在自己附近的河段取水,并把高质量的排放水送给下游城市作为水资源。

8 研究成果在流域和城市水资源、水环境战略规划上的应用

多年来,笔者等应用水环境恢复和城市水系统健康循环的观念和方法从事了与国家中长期科技发展战略规划有关部分的研究,完成了深圳特区、大连市、北京市及第二松花江流域水环境、水资源和水循环方面的战略性规划研究工作。

1)2004年,完成了北京市教委重点项目“水环境恢复工程战略研究”。全面应用了水环境恢复理论和水系统健康循环的方略,结合北京市地方条件进行了水资源和水环境战略规划,指出北京市水资源的可持续利用和水环境的改善只能依赖于北京市用水健康循环的实施。节水资源与再生水资源不但可满足北京市的发展之需,而且可以大力削减水系污染。

根据此研究成果,北京市水务局在国内率先实行了“循环水务”,几年来取得了显著成绩。a. 全面

实行以政府为主导的节制用水政策。将农业用水由2000年的16.49亿 m^3 压缩到2006年的10.8亿 m^3 ;几年来,全市工业产值大幅增长,工业用水却显现“负增长”;全市公共场所节水器具全面普及,居民节水器具普及率也达到80%。b. 污水处理与再生水利用。2006年市区污水处理能力由2004年的 $1.9 \times 10^6 m^3/d$ 跃升到 $2.50 \times 10^6 m^3/d$,处理率由57.7%跃升到90%, COD_{Cr} 削减率由30%提高到80%;已建成6座再生水厂,再生水利用量达3.6亿 m^3 ,市区污水回用率达50%。c. 河湖水环境的恢复。2004年起逐年截流河床两岸污水,以再生水补充河床基流,使多年黑臭的清河、凉水河、马草河的水质变清。

2)2001年,受深圳市国土局委托,编写完成《深圳特区城市中水道系统规划》,规划建设以城市污水为水源的城市第二供水系统——城市再生水道,将现在和规划中的污水处理厂都扩建为再生水厂,以再生水厂为中心建立了5个再生水供水区域。再生水供水总规模达 $4.9 \times 10^5 m^3/d$,供水干管长度为130 km。这不但可以解决深圳市水资源平衡问题,并且补充了生态用水。每年还可减少排入内河及周边海域 BOD_5 约4500 t, COD_{Cr} 约12050 t。此项目完成后将对深圳湾、大鹏湾的水域环境改善起到巨大作用。这是我国第一部以城市污水为原水的城市再生水供应系统的工程规划,对深圳市水资源可持

续利用、改善和恢复河湾水质质量和水环境恢复起了奠基作用,为全国各大城市树立了典范。

3)2003年,受大连市委委托,完成了《大连市海水与城市污水资源战略研究》。此研究明确指出,在本地区的非传统水资源——污水、雨水、海水之中,应优先发展城市污水的再生、再利用和再循环,这可以在增加大量水资源的同时解决环境污染问题。其次补充雨水渗透、储存和利用,尤其是长海县雨水储存与利用可列为重点。据估算,各种水源的制水成本分别为:现行碧流河引水 $3.5\text{元}/\text{m}^3$,城市污水再生水 $1.11\text{元}/\text{m}^3$,海水淡化 $6\text{元}/\text{m}^3$,大洋河调水 $5\text{元}/\text{m}^3$,为市政府决策提供了科学与技术依据。据该规划,2020年大连城市再生水道总规模达到 $7\times 10^5\text{m}^3/\text{d}$,每年可补充 $2.6\times 10^8\text{m}^3$ 淡水,大大缓解了用水紧张状况,因此可免除或延缓引大洋河水进入大连工程的实施。同时相对二级处理水排放而言,可相应削减年排海COD_{Cr} 25 550 t、TN 6 400 t、TP 1 300 t,对内河和大连湾沿海海域的水质恢复做出重大贡献。

4)2005年,承担中国工程院重大咨询项目《东北地区水土资源优化配置生态与环境保护和可持续性发展的若干战略问题研究》的子课题《第二松花江污染防治对策研究》。建议的具体对策如下:
a. 编制流域水系统健康循环规划,建立吉林市城市水系统的健康循环,建立长春市城市群间的健康水循环。
b. 建立水系统健康循环法律法规。
c. 建立松花江流域水环境与水资源有权威的统筹管理机构。

5)2003年,以《城市水系统健康循环研究》为题,将水环境恢复工作写入国家中长期科学和技术发展规划(2006—2020)战略研究中。在这个课题里,以社会用水健康循环方略为指导思想,指出我国15年内水事活动领域的发展思路:
a. 由城市点源治理发展为流域城市群间水资源重复和循环利用,恢复流域和城市水环境。
b. 由开源节流上升为城市水资源健康循环,普及城市污水深度处理,发展城市再

生水道,实现污泥、有机垃圾肥料化,充分利用本地水资源。
c. 末端治理为源头治理,提倡节制用水和清洁生产,发展节水工业和农业。
d. 变快速排除城市雨洪为提倡降雨地下渗透、储存调节,修复雨水水文循环途径。

制订的2005—2020年15年内水事活动的总体目标是建立3~5个中、小流域的城市群水资源重复循环利用、社会用水健康循环的示范工程,实现全流域水环境恢复。此战略思想的出台意味着我国水环境恢复工作的全面展开。

9 结语

从地球水循环的基本规律出发,寻求人类社会用水循环与自然循环的和谐,指出了水环境恢复与水健康循环的基本途径和操作体系,形成了系统理论与实践指南。其特点是:

1)应用了生态学理念与系统科学思想,把人类社会活动放在大自然的系统之中来研究,摒弃了人类超脱于生态系统之上的二元论自然观。

2)以流域为地理单元,统筹考虑社会用水循环与自然水循环的互动关系,把城镇群、农业、畜禽养殖业等方面的水事活动统一于流域之中。以循环经济、可持续发展为指导,建立了流域和城市水系统健康循环的理论与方略体系,并与循环经济的减量化、再利用、再循环的“3R”原则遥相对应。

3)将水危机的两个方面——水短缺与水污染统一于水环境恢复课题中,从而一并给与解决。放眼于全流程、着力于污染源的切断削减、注意污染源源头分离,将那些本来就是肥源的污染源重新转化为肥源。

4)重视民众参与,集全社会的力量以达到水环境的恢复和社会用水的健康循环。

(下转 53 页)