

水资源与植物营养素的社会循环规律研究

李冬¹ 张杰^{1,2}

(1 北京工业大学建筑工程学院,北京 100124; 2 哈尔滨工业大学市政环境工程学院,哈尔滨 150090)

摘要 从生态学观念出发利用系统科学的方法,研究了现代城市水系统的发展和现状,讨论了水危机和资源枯竭的根源,提出了循环型城市水系统和人居生态卫生系统的理念,指出这是缓解水资源危机的必由之路,是循环型城市的基础,人类社会可持续生存和发展之路。

关键词 资源 水系统 植物营养素 自然循环 社会循环 可持续

人类生存于地球自然界之中,自然是地球生态系统中的一环。长期以来人类为了经济利益,尽最大努力去开探资源,无度消费,大量排放废弃物,致使地球的资源与环境遭到了严重破坏,人类社会也陷入了资源与环境的危机之中。我们应清醒地认识到:自然界水与其他资源都是有限的,并处于不断的物质循环之中。人类的社会活动、生活与生产活动都要服从于物质自然循环的规律,与其相协调。人类社会水与其他物质的循环必须纳入自然循环运动之中。

1 自然界物质循环

1.1 水循环

在太阳能的驱动下,水在海洋、天空和大陆进行循环运动。其循环总量就是地球降水总量或者说是蒸发总量,为 $57.7 \text{ 万 km}^3/\text{a}$ 。大陆降水量大于蒸

发量,而海洋的降水量小于蒸发量。由于大陆与海洋这种降水与蒸发量上的差异,形成了水由大陆流向海洋的大陆地表与地下径流,造就了川流不息的江河、湖泊、地下潜流,滋润着地球万物的生长,也是人类社会不可替代的自然基础资源^[1]。大陆径流总量为大陆降水总量与蒸发量之差,或海洋蒸发总量与降水量之差,按下式计算:

大陆降水总量 - 大陆蒸发总量 = $11.9 - 7.2 = 4.7(\text{万 km}^3/\text{a})$,或者海洋蒸发总量 - 海洋降水量 = $50.5 - 45.8 = 4.7(\text{万 km}^3/\text{a})$ 。水的自然循环^[2]如图 1 所示。

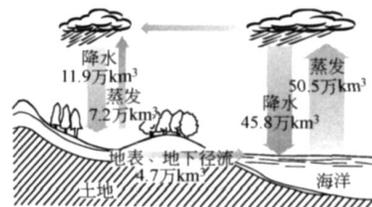


图 1 水的自然循环

人类社会通过从自然径流中取水来进行生活生产活动,用过的水又排回到自然水体,建立了社会用

国家自然科学基金资助项目(NO. 50878003);城市水资源与水环境国家重点实验室开放课题(NO. 08UWQA08);北京市教育委员会科技发展计划重点项目,北京市自然科学基金重点项目(NO. KZ200610005001);北京市自然科学基金资助项目(8092006)。

度增加,|TMP| 升高加快,超滤膜越容易被污染,且低温清洗效果较差。

(4) 合理选择清洗时机,采取提高清洗剂温度、延长浸泡时间及进行恢复性清洗等措施能改善低温时的清洗效果。

参考文献

1 黄明珠,曹国栋,李冬梅,等.佛山新城区优质水厂设计与运行分

析.给水排水,2008,34(3):12~16

通讯处:528000 佛山市禅城区同济西路 16 号

电话:(0757)28903622

E-mail:mingzhufeizhou@163.com

收稿日期:2009-02-23

修回日期:2009-04-24

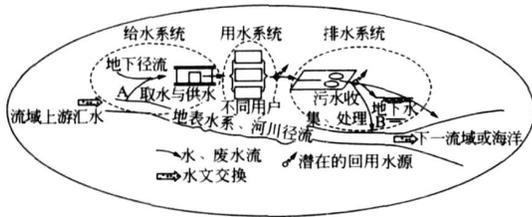


图2 地球复合水循环系统

水循环^[3],它和自然水文循环一起构成了地球复合水循环系统,如图2所示。

社会用水循环是自然水文循环的一个子系统,它依附于自然水文循环系统。但是百年来人类大肆进行水事活动,也给予了母系统强烈的影响和冲击。咸海是世界上较大的内陆湖,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,开挖运河扩大浇灌面积,使得锡尔河长年没有入海流量,阿姆河入海量减少75%。咸海水位和水域面积不断缩小,到1980年水位下降了7m,面积缩小了1.5万km²,海水含盐量不断增加;埃及阿斯旺水库的建成促使了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了埃及人长期医学防治的难题。在我国一座城市或者一座工厂污染一条河流,一座大坝干了一个流域的事例屡见不鲜。人类在无度攫取和消耗水资源取得巨额经济利益的同时,也遭到了严重的报复。

1.2 物质循环

自然物质循环的典型是植物营养素(N、P、K等)的循环。地球上已知的生物物种大概有150万种,其中20%是水生生物。每种生物都不是独立生存的,他们都是在生产者、消费者、分解者的营养循环中与其他物种相依存而生育、生息不止的。在太阳光能量的补给下,绿色植物吸收土壤中营养成分,利用CO₂和水来合成有机物质,增长繁育自身,为草食动物生产食料,组成了草食动物、肉食动物的食物链。枯萎的植物和动物的排泄物以及他们死亡后的肢体又被微生物所分解,重新产出植物营养素供给绿色植物利用。表明了在大阳光的照射下植物营养素在绿色植物(生产者)、动物(消费者)、微生物(分解者),再到绿色植物的反复不断循环^[4]。

在人类产生后的几百万年间,人类是食物链的最终端,但是人类基本没有破坏植物营养素的自然

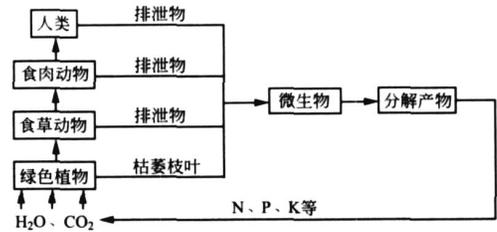


图3 植物营养素循环链

循环,其循环途径可见图3。

自从18世纪人类社会生产力渐趋发达以来,尤其是19世纪水冲厕所普及以后,人类社会的核心城市另僻了植物营养素的开路循环,如图4所示。

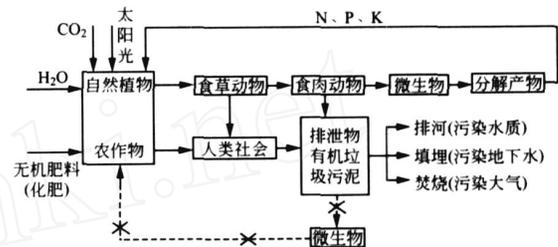


图4 现代社会的植物营养素开路循环

由于人口剧增,人类社会大力地发展农业、畜牧业,将农作物、家畜、野生动、植物都作为食物,消耗数量巨大,而其排泄物又通过下水道、垃圾处理系统排放于河流、填埋于地下或者进行焚烧,污染自然水系和大气环境,由于上述资源没有通过分解者回到农田作肥料,造成植物营养素的流失和水环境污染。农田土壤营养贫乏,不得不大量使用无机肥料。由于化肥便捷、肥效快,作物高产,造成了农民对化肥的依赖。然而化肥污染环境,随农田径流入水系的化肥数量占施肥量的70%,是闭锁型水体富营养化的元凶。依靠化肥的农业是不可持续的,虽然氮肥可以从空气中取得原料,但是磷肥的原料只能依靠磷矿石,矿物学家估计如果照此速度消耗磷矿石,最多还能开采100年。另外施用化肥也使农田土壤渐渐板结贫瘠,导致了农业的潜在危机,时至今日我们应从物质循环的视点认真研究农业肥料的循环^[5]。

2 人类社会水资源流、物质流的健康循环

社会水资源流的健康循环就是社会用水的健康循环,即在水的社会循环中遵循水文循环的规律,节制社会循环流量,同时将用过的污水再生净化实现健康循环,使得上游地区的用水循环不影响下游水

域的水体功能;水的社会循环不损害水自然循环的规律,从而维系或恢复城市以及流域健康水环境,实现水资源的可持续利用。

社会物质流主要是食物中富含的 N、P、K 等营养物质的循环,是自然界植物营养素循环中的分支,社会物质流的健康循环就是不切断、不损害植物营养素的自然循环,不产生营养素的流失,不积累于自然水系而恶化水环境。

从古至今长期以来社会物质流的循环都是健康的,人们把人畜排泄物、有机垃圾、作物秸秆等都用作农家堆肥的原料,回归到农田,这和自然界植物营养素从生产者—消费者—分解者—生产者的循环规律是吻合的,只有到了现代城市和现代农业的时代才出现了偏差。一方面城市向水系流失氮、磷等营养素,集中污染水环境,另一方面农业大量使用化学肥料,消耗磷矿资源,同时产生强劲的面源污染。必须将这种状态纠正过来,达到社会物质流的健康循环,使其再融入自然植物营养素循环之中。

社会水资源流和物质流的健康循环正是循环经济的基础,是减量化、再利用、再循环 3R 原则的典范。

3 人居生态卫生系统与城市排水系统的革命

城市的水资源流与物质流是密不可分的,表现在人居的排泄物和物质消费的剩余物大都是通过排水系统进入污水处理厂或排入水体。水环境污染就是因为城市排放水中混杂的有机物、N、P 等物质进入水系而引起的。现代传统城市排水系统的弊端正是水短缺、水污染和植物营养素循环紊乱的直接原因。

城市排水系统的雏形可以追溯到几千年前,我国河南省淮阳发现的龙山文明时期(2 600~2 800 年之前)的古城池中已经使用了陶瓷排水管。最初的排水系统是用来排除雨水防止内涝的。直到 19 世纪欧洲各地城市蔓延痢疾、霍乱等水媒传染病,导致成千上万人死亡,于是 18 世纪发明的水冲厕所,在 19 世纪得到了普及,同时修建污水下水道和合流制下水道,成功改善了城市居民的卫生条件,避免了水媒传染病的暴发,但是却使河流水质严重下降,“莱茵河一度成为了欧洲最大的下水道”。河流水质普遍污染迫使人们进行污水处理,一百多年来污水处理技术不断发展,世界各大都市都普及了城市排水系统。虽然一些河流水质得到了改善,但是水环

境污染,水体富营养化并未得到根本解决。

近年来我国城市污水处理普及率增长迅速,但是水污染并未得到遏制。那么我们奉行的现代排水系统的理念,把污水中杂质(有机物、N、P)看成是污染物,把污水看成是污秽之水是正确的吗?如果我们把污水中的 N、P、有机物及各种杂质看成宝贵资源,进行回收或源头分离,把污水看成宝贵淡水资源进行再利用再循环,那么城市排水系统就成为了物质回收、污水再生、资源再利用再循环的城市循环经济的基础设施,而不是只担任收集、末端处理和排放污水的任务。两种不同的观念赋予了排水系统两种相反的任务,就会引发城市排水系统的革命^[6]。

4 循环型城市水系统模式

循环型城市是水资源和物质资源循环利用的城市,实现资源消耗的减量化、再生与再循环。它的物质流、水资源系统和能量流应是闭合的。循环型城市水系统是城市水资源、物质资源循环利用的通道,循环型城市的基础。它担负着社会用水和植物营养素健康循环的重任。它有如下属性: 节制自然取量。提倡珍惜水资源,节制和节约用水,保证城市水系流域的生态用水; 污水再生、再利用与再循环;

重在污染物的源头分离,提倡人居环境的生态卫生系统和工业企业的清洁生产,回收营养物质、工业原料及中间产品。以源头分离为主,末端清辅之;

节制或取缔人工合成的有毒有害化学品的生产,就地消解工业废水中的有害、有毒物质,不使其进入城市排水系统。因此节制取水、节约用水、物质回收与水资源循环利用是循环型城市水系统的使命。为完成这一使命,循环型水系统在排水制度、污水再生方法、污泥处理与处置等方面都将面临重大变革^[7]。

4.1 人居生态卫生系统和污染物的源头分离

人居粪便和生活有机垃圾,如果能通过微生物分解,产生营养素 N、P、K 等,再供农作物生产食物,供人们消费……这样人们的食物消费就可以闭合循环了,人类就又回到了自然生态的生物系之中,人类社会就有了持续发展的前提。能够完成这一任务的人居卫生系统,可称为人居生态卫生系统,它是一个可持续的闭合循环系统。将人居排泄物视为宝贵资源而不是废物,使水资源和植物营养素在人类社会以闭合的回路进行循环,使有限的水资源和营

养物质可持续为人类服务。

人居生态卫生系统用下水道单独收集生活杂用水,如洗衣、淋浴、厨房等排水,经管网送至再生水厂;厕所粪便以及厨余粉碎了的有机垃圾另成系统输送至有机肥料厂进行堆肥,生产有机肥料,回归农田。在这种情况下,城市排水系统确实实行了“分流制”,不过并非雨水与污水的分流,而是粪便、有机垃圾与生活杂用水的分流,进行植物营养素和水资源的分别再生和再循环。城市雨水经渗透、自然与人工调节之后可进入生活杂用水系统。城市污水再生厂进水中大部分“污染物”粪便、有机垃圾都进行了源头分离,因此水质大为“淡化”,有机物、TN、TP将有大幅度降低,处理负荷也大为降低,污水处理、深度处理的工艺路线将有明显变化。固液分离、生物膜过滤将成为主导工艺技术。

4.2 厕所的革命

厕所是城市排水系统和人居卫生系统的首端,19世纪水冲厕所的革命,改善了城市卫生条件,为人类的发展作出了历史贡献。但现代人口膨胀,并向大城市集中,水冲厕所已成为了水环境的主要污染源。百年来城市污水处理主导工艺的去对象多半是水冲厕所带来的有机物和氮、磷等污染物。如果将水冲改为气冲或真空抽吸,以卫生、安全、经济的生态厕所替换水冲厕所,那么就为城市排水系统的源头分离和人居生态卫生系统解决了上游技术设备。为人居生态卫生系统的革命开辟了道路,可以预言生态厕所的革命将为人类的持续生存和发展作出历史性的贡献。

4.3 循环型城市水系统基本模式

循环型城市水系统基本模式如图5所示。

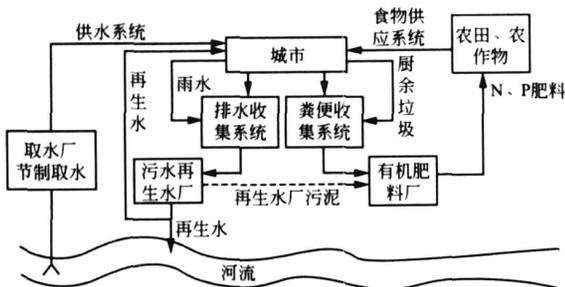


图5 循环型城市水系统水资源流与物质流循环示意

从图5可以看到,一个城市有一个水资源健康循环系统,收集人居生活杂用水、工业废水、雨水进

行再生再利用再循环;还有一个物质(植物营养素)健康循环系统,收集人居粪便、有机垃圾,经发酵分解生产有机肥料回归农田。水资源和植物营养素的循环,构成了循环型城市的基础。这样的城市将在流域城市群中和其他城市一起重复和循环利用一条江河水资源,而不污染下游城市。

5 结语

人类是地球上自然生态系统中的一员,居于生态食物链之终点,有把握和利用自然规律的能力,但却不可违反生态规律,涸泽而渔。与此相反,应自觉地服从自然规律,维护生态系统平衡。人类的生产与生活活动只能限定于自然生态平衡之中。

在太阳光能的驱动下,自然界的水资源和植物营养素处于闭合的生态循环之中。人类社会水资源消费和食物消费必须融于自然循环之中,才可得以可持续生存和发展。

创建循环型城市水系统是水资源与植物营养素健康循环的必由之路,为此应加速人居生态卫生系统的建立,研制生态卫生厕所、粪便输送系统和有机肥料的制造技术,这与普及现代传统下水道系统、在每座城镇都建立末端治理的污水处理厂,有着理念上的根本区别。

循环型城市水系统和人居生态卫生系统必将取得事半功倍的效果,为人类社会可持续发展作出贡献。

参考文献

- 张杰. 我国水环境恢复与水环境学科. 北京工业大学学报, 2002, 28(2): 56~61
- 张杰,熊必永. 城市水系统健康循环的实施策略. 北京工业大学学报, 2004, 30(2): 185~189
- 张杰,熊必永. 水环境恢复方略与水资源可持续利用. 中国水利, 2003(6): 13~15
- 张杰,丛广治. 水环境恢复与城市下水道. 苏州科技学院学报(工程技术版), 2003, (2): 4~6
- 张杰,陈立学,熊必永,等. 我国水环境与水循环的健康之路. 给水排水, 2005, 31(5): 19~25
- 张杰,熊必永,李捷,等. 污水深度处理与水资源可持续利用. 给水排水, 2003, 29(6): 20~32
- 张杰. 为我国水环境恢复而努力. 给水排水, 2003, 29(4): 1

& 通讯处:100124 北京市朝阳区平乐园 100 号

电话:(010) 67392579

E-mail: lidong2006@biut.edu.cn

收稿日期:2009-04-08