

我国水环境恢复工程方略

张 杰, 丛广治

(哈尔滨工业大学市政环境学院, 哈尔滨 150090)

[摘要] 在水环境日益恶化的今天, 如何有效遏制恶化趋势, 重新建立起水的健康循环, 恢复良好水环境, 是当前水资源可持续利用, 人类永续发展的根本性问题。文章从水的自然循环和水的社会循环关系出发, 论述了人类社会活动与自然界的协调发展, 指出水环境恢复和维系的基础是建立健康的社会水循环。进而首次提出了系统的水环境恢复原理和方略。呼吁建立水循环科学与工程学科, 为水环境恢复和维系事业提供科学依据和人才基础。从水环境角度进行各项水事工作, 是恢复水环境的基本途径, 也是客观实际的迫切要求。

[关键词] 水环境恢复; 水健康循环; 水环境科学与工程; 可持续利用

[中图分类号] TV213.4 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2002)08-0044-06

18世纪产业革命以来, 特别是近半个世纪以来, 人类社会采取的大量生产, 无度消费, 大量废弃的方式, 是建立在自然界的能源、资源是无限的认识之上的。由于现代科学技术突飞猛进, 经济快速发展, 人口剧增并向大都市集中, 使得大自然不堪重负, 环境遭到破坏, 人类的生存发展受到威胁, 使人类意识到地球资源与环境容量是有限的。而建立循环型的城市是拯救资源、能源和环境的有效措施, 是21世纪社会生产与消费的新秩序, 是人类社会持续发展的基础^[1]。

水是在大陆-河海-大气中全球循环的自然资源, 是人类共同财富, 只要人们遵守它的循环规律, 维持健康的水循环, 它就能永久地为人类利用。

1 我国水环境现状

据国家环境公报报导, 我国江河流域普遍遭到污染, 全国河川的生态功能已严重衰退, 且呈发展趋势。对 5.5×10^4 km河段调查表明, 水质严重污染、不能用于灌溉, 即劣于V类标准的河段占23.3%; 鱼虾绝迹的河段占45%; 不能满足III类

水质标准、不能做集中水源的河段占85.9%。我国七大水系的污染程度由重到轻的顺序为: 辽河、海河、淮河、黄河、松花江、珠江和长江。海河、辽河的干流等有一半河段水质劣于V类, 淮河191条支流中近80%河段的河水变黑发绿。国控141个城市河段中, 63.8%的河段为IV类至劣V类水质。

近30年来我国淡水湖泊水质污染现象呈迅速增长之势。全国大型淡水湖泊均达到中度和重度污染, 其污染程度由重到弱依次为滇池、巢湖、南四湖、洪泽湖、太湖、洞庭湖、镜泊湖。滇池和巢湖全湖水水质劣于V类。

我国近海海域水质污染严重并有继续恶化之趋势。劣于III类水质标准的比例近53.6%, 20世纪60年代之前, 渤海海域曾发生过3次赤潮, 70年代发生9次, 80年代74次, 而1997年猛增, 一年发生34次, 1999年7月间渤海出现了前所未有的赤潮大爆发, 赤潮面积达6300 km², 延续9天时间。

我国城市供水水源有30%源于地下水, 北方城市则有59%源于地下水。近20年来地下水水质

普遍呈恶化趋势。1998年对我国118座大型城市浅层地下水的普查表明,有115座城市地下水受到不同程度污染的占检测总数的97.5%,受污染的占40%。北方城市地下水90%遭到污染,其中28%已不适合作为饮用水源。污染物主要有硝酸盐、氨氮、有机物、铬和酚。

2 水环境恢复原理

2.1 水的循环

全球水大概有 $14 \times 10^8 \text{ km}^3$,其中97%为海水,淡水的70%都贮存在南、北极的冰山上,而流动在河川、湖泊的地表水和地下水的淡水资源仅为地球上全部水量的0.8%^[2]。水的循环是自然现象,太阳能是水循环的动力。海面、湖面以及地表面接受到太阳能而使水份大量蒸发到上空凝结成云,云随风漂泊,遇冷降雨(雪、雾、霜),地面降水形成地表和地下径流,汇集成小溪、大河大江,奔流入海。然后再被蒸发……,往复不断地进行着水文循环。在自然界水文循环中,由于大气中云流动的不均和复杂的气象、地理原因,使各地域的降水量差别极大。我国平均降水量为648 mm(1956—1999年间24年的资料)比全球平均值低20%。

我国地域广大,受气候与地形影响,降雨量从东南沿海向西北内陆递减。另外,降雨随季节的时间变化很大,形成洪水、枯水等自然现象。

2.2 水环境的变化

一个流域的地面降水,一部分渗入地下,进而形成地下径流,一部分蒸发到大气中,相当部分在地表面形成径流,径流遵循地势、地形,由高向低流去,在本流域内汇成水溪、大河最终注入大海。一个流域内降水不会流入其他流域。在流域内上游城市用水、农业用水、工业用水均由本地区河流取水来供给,使用后绝大多数再排入其下游河段。下游城市的用水也同样在该区域的河段取水,用后再排入同一流域的更下游河段。在同一流域内取水和排水是一个往复多次的水利用循环。流域越大,城镇越多,循环次数越多。

人们生活和生产活动的一切排泄物,包括城市生活污水、生产污水、汽车尾气、采暖与工厂燃气,田野剩余化肥、农药等,几乎都通过降雨径流、人工排水系统汇入江河,所以水利用循环的水质对流域生态和水环境影响深刻。

由于溶解着和挟带着各种污染物质的城市污水、工业污水、地表径流不经处理和净化直接注入水体。其中的碳源有机污染会使水体严重缺氧,发黑发臭,破坏水生态系,甚至使水生生物灭绝。磷的污染致使闭锁性水域富营养化,藻类疯长,赤潮频频发生。使江、河、湖、泊丧失水体功能,这种对人类生存空间不负责任的水社会循环是不健康的,将导致大自然的报复。

在水的自然循环体系中,人类的活动和用水循环应该是有节制的,必须与之相协调,做到“天人合一”方能永续生存与发展。

2.3 水环境恢复原理

水是基础自然资源,是生态环境的控制性因素,是人们生存、生活、生产不可替代的物质资源。地球上的一切地质的、气象的、水文的、地理的自然现象都与水的循环密切相关。

恶化了的水环境是可以恢复的。这是基于水的自然大循环。水在全球陆、海、空大循环中会得到净化,能循环不已往复不断地满足地球万物,森林、草原、盆地、湖泊、土壤、生命用水之需要,维护着全球的生态环境。水环境可以恢复,还基于水的可再生性。水是良好的溶剂,也是物理、化学、生物化学反应良好的介质,被污染了的水可以在运动中得以自净,还可以通过物理的、物理化学和生物化学的方法去除污染物质,从而使水得以人工净化和再生。所以,社会循环污染了的水是可以净化的,污水通过处理和深度净化可以达到河流、湖泊各种水体保持自净能力的程度,从而上游都市的排水会成为下游城市的合格水源。在一个流域内人们可以多次重复地利用流域水资源。其实自古以来,人类社会就是重复多次地利用一条河上的流水。

水环境恢复和维系的基础是建立健康的社会水循环。现今世界各国都不同程度提出了健康(健全、良性)水环境的概念。是针对人们滥排污水和丢弃废物,滥施农药与化肥而提出的,是拯救人类生存和永续发生空间的根本性战略。所谓健康水循环,就是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客观规律。维系或恢复全流域,乃至全球的良好水环境。

达成水健康循环的社会基础是:a.提高社会对水与人类关系的了解,培育珍贵水的意识,养成节制用水习惯。从而取得群众保护水环境和恢复水

环境的理解和协力, 育成良好的水文化。b. 在国土管理上, 在城市总体规划上要注入水循环的概念。c. 在每个流域内, 都要将河流、流域及社会视为一体, 统筹考虑水的循环利用规划。d. 在每个流域内都要确保环境用水量, 规范社会取水量, 保护水流空间, 维持丰富多样的生态系, 良好的水流空间和秀丽的两岸风光。f. 每个城镇都要有完备的水循环系统。既要有安全、可靠的供水系统, 又要有污水收集、处理、深度净化, 有效利用与排除系统。污水处理程度应按下流水体功能要求而定。

3 水环境恢复方略

水环境是一个流域性问题, 甚或是全球性的。水环境的恢复、维系和保护需要多学科、多社会领域共同努力。

3.1 节制用水

节制用水不是一般意义上的水的节约。它是人类社会长期的一个基本方针。自然界提供人们可用的淡水资源是有限的, 人口的快速增长和城市化建设, 使得水资源越来越短缺, 许多地区时有水荒发生甚或长年缺水。1997年我国人均水资源量为 $2\ 220\text{ m}^3$, 预测2030年当全国人口增加到16亿时, 人均水资源量降至 $1\ 760\text{ m}^3$, 水资源的形势是严峻的。况且我国降水量时空分布极为不均, 东南沿海降水最多, 向西北内陆越来越少, 台湾省平均降水量 $2\ 535\text{ mm}$, 而塔尔木和柴达木盆地多年年均降水量不足 25 mm 。黄河、淮河、海河流域的水资源量占全国的7.7%, 但耕地占39%, 人口占35%, GDP占32%。人均水资源量仅为 500 m^3 。水资源成为制约经济发展和人们生活质量的瓶颈。自然要求工业、农业和生活都要节制用水。

水是全社会、全人类和全球生物共有的资源。为维系良好的水环境, 要求人类社会在水使用之后排放之前必须进行处理和再生净化, 达到健康水循环。取用 1 t 水, 就要产生 0.8 t 污水, 而处理与再生的费用是昂贵的, 西方发达国家用于污水处理的费用平均达到GDP值的2%~3%。对于西方各国财政都是一个重负, 但仍没有完全达到水健康循环的目的。就我国目前来说, 更是难以承受的。为了削减污水处理经费, 减轻社会经济重负, 必须节制用水, 减少污水产出量。

在水自然循环的系统中, 人类的水利用循环,

人类的活动是一种干扰, 节制用水就是减少这种干扰, 减轻消除这种干扰的负担。所以水资源严重缺乏的地区当然要节制用水, 水资源丰富的地区也要节制用水。

目前我国农业、工业、城市生活用水浪费现象严重。如发挥现有科技条件, 节制用水的潜力是巨大的。

1) 农业节水。目前我国广大农田还是采用流水漫灌技术, 水的利用效率很低, 平均灌溉水利用系数为0.45, 而西方发达国家灌溉水利用系数为0.8, 如果将灌溉水利用系数提高到0.6~0.7, 就将节约灌溉水 $600\times 10^8\sim 1\ 000\times 10^8\text{ m}^3/\text{a}$, 节水潜力是很大的。我国主要粮食作物用水效率为 $1.10\text{ kg}/\text{m}^3$, 水稻为 $0.63\sim 0.72\text{ kg}/\text{m}^3$, 都有待于大幅度提高。近10年来我国建成了一批节水灌溉工程, 水的灌溉利用系数达到0.7之上, 如果进一步推广喷灌、微灌技术, 减少无效蒸发和深层渗漏, 发展节水农艺技术, 灌溉水利用系数和单位水产量产出率都会有巨大的突破。

2) 城市与工业节制用水。城市与工业节制用水不但节省了水资源量同时也缩减了污水产出量, 收到水资源和环境双方面的效益。1983年到1997年, 工业用水重复利用率由18%逐步提高到63%, 节水效果显著。但与发达国家90%相比差距仍很大。而且, 工业用水效率相当低, 单位产品的耗水量是发达国家2.5~10倍, 工业节水潜力仍然很大。在三五十年内通过实施清洁生产、节水工艺维持工业用水量不增加或少增加, 而不影响工业的发展是可能的。城市生活用水浪费现象十分严重。据统计, 全国平均管网漏失率为12.1%, 实际损失可能达20%之上。生活用水器具跑、冒、滴、漏现象十分普遍。机关事业单位、宾馆、医院人均用水量高达 $378\text{ L}/\text{d}$, $1\ 910\text{ L}/\text{d}$, $1\ 390\text{ L}/\text{d}$ 。

建立节制用水型的社会是人与水环境协调的需要, 也是人类永续发展的需要。事实上世界许多国家在经过一定的经济发展阶段之后, 城市需水量普遍呈现零增长和负增长的现象。

3.2 城市污水深度处理与有效利用

城市的给水排水系统对于水自然循环至关重要, 是水大自然循环的一个旁路, 是水的社会循环。城市排水系统是水自然循环与社会循环的联结点, 污水处理厂是水循环中水量与水质的平衡点。

欲维系健康水循环的功能, 应认真讨论污水处

理程度与普及率。据中国工程院为国家编制《中国可持续发展——水资源战略》中指出,当2010年,2030年全国污水处理普及率达50%和80%时,城市污水对水环境的污染负荷并没有明显减弱,近岸海域,江河湖泊的污染趋势仍然得不到遏制,这是由于污水处理率虽在增加,但污水排放总量也在增长,使得污染负荷总量削减有限之故^[3]。

据文献报导,东京都污水处理率达95%之上,区域内河川水质已有明显改善,但东京湾富营养化仍有增长的趋势,赤潮时有发生。当东京湾流域的川崎市、横滨市和东京都的污水二级处理率都达到100%时,污水厂排放的负荷仍占入海负荷的大半,海水上层水质 COD_{Mn} 仍为5.46~5.75 mg/L,还是达不到环境标准,这是因为普通二级处理只能去除易分解的含碳有机物,而对N, P和难分解有机物作用不大。1997年东京湾排放标准提高到 COD_{Mn} 12 mg/L, T_N 10 mg/L, T_P 0.5 mg/L,这就意味着东京湾的环境质量已寄希望于污水处理深度^[3]。

国内外水环境恢复与再生事业经验表明,污水深度处理与再利用是走向健康水循环的桥梁,在水的循环中占据重要位置,起关键作用,污水再生和有效利用的每一点实际进步都是对地球环境、人类进步的贡献。推进污水深度处理,普及再生水利用是人类与自然兼容协调,创造良好水环境,促进循环型城市进程的重要举措。

迄今为止,环境工作者只注意到城市污水处理与排放,将排水系统功能定位在防止内涝,改善生活环境和保护公共水域水质之上。今天看来还远远不够,现今城市排水系统应是恢复和创造良好水环境,维持健康水循环的基础设施,要实现这种功能就需要推进污水深度处理和再生水的有效利用^[4]。

3.2.1 推进污水深度处理 所谓污水深度处理有别于污水三级处理。三级处理是在二级处理流程之后再增加处理设施,来取得良好的水质。深度处理不限于此,采用二级处理新工艺取得更好的水质也是深度处理。比如污水生物脱氮、除磷就是在二级处理过程中完成的,尤其是磷的去除就更方便,采用厌氧-好氧活性污泥法可以在不增加基建和运行费的条件下,改变运行工况就能去除营养盐磷,并且能收到抑制丝状菌繁殖,防止污泥膨胀的效果。无论正在建设和已运行的污水厂都可以改造成为厌氧-好氧活性污泥法除磷工艺,减少水域的磷污染

负荷,对于闭锁性的湖泊和海湾具有重要价值。活性污泥法发展到今天,应该以厌氧-好氧活性污泥法替代普通活性污泥法成为标准流程。当然污水深度处理也不排除三级处理,当再生水用户对SS、COD、色度、臭味有特殊要求时,应在二级处理之后增加混凝过滤、生物膜过滤、臭氧氧化、活性炭吸附以至膜分离净化单元。

污水深度处理在经济发达国家已有推广,甚至普及。1996年日本全国有162处污水厂有再生水设备,利用再生水量为 $48 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。西欧各国远早于日本就到达了相当高的普及率,如表1。

表1 世界各国深度处理普及率表 %
Table 1 Advanced treatment efficiency
in the world %

	日本	英国	德国	加拿大	美国	芬兰	瑞典
	1997	1993	1993	1993	-	1993	1993
二级处理普及率	55	96	90	75	71	77	95
深度处理普及率	5	12	48	28	30	67	88

就我国实际情况而言,污水深度处理与再生水利用是维系良好水循环的必由之路。对于进入渤海湾、深圳湾、滇池、东湖、南四湖、巢湖等封闭性水域的水进行深度处理是防止富营养化,恢复水体功能的急需。环境主管部门应制定地方标准,严格限制N, P和难分解物质(COD)的排放负荷。对于缺水地区,深度处理是生产再生水的主导工艺,能起到开发城市污水资源和大幅度削减污染负荷的双重作用。这些地区可以率先推进污水深度处理与再生水利用。但是多年来由于财政经济非常有限,不少环保部门领导和水质专家着重于寻求一级处理,自然处理等即“省钱”、“省能”又解决环境污染的途径,其实这些途径是难以奏效的,而普及二级处理的工程费用和维护费用是惊人的,各级财政更难以承受。若在二级处理基础上进行深度处理,将排放的处理水变成再生水,成为稳定的城市水源的重要组成部分,把远距离调水的巨额费用用于污水的再生,开发污水资源,此乃一举两得,事半功倍的智者之举。在封闭性水域地区和缺水地区舍此别无出路,就是在水资源丰富地区,也是保持健康水循环的良策。

3.2.2 再生水作为水源的应用前景 城市污水是城市稳定的淡水资源,污水再生利用减少了城市对自然水的需求量,减少了水环境的污染负荷,削减

了对水自然循环的干扰,是维持健康水循环不可缺少的措施。在缺水地区和干旱年份再生水的应用更是雪中送炭,解决水荒的有力可行之策。

再生水可应用于以下几个方面:

1) 创造城市良好的水溪环境。补充维持城市溪流生态流量,补充公园、庭院水池、喷泉等景观用水。日本从1985年到1996年用再生水复活了150余条城市小河流,给沿河市区带来了风情景观,愉悦着人们的心情,深受居民欢迎。北京、石家庄等地也利用污水处理水维持运河与护城河基流。

2) 工业冷却水。大连春柳河污水厂早在1992年建设投产了污水再生设备,每天生产再生水 $10\,000\text{ m}^3/\text{d}$,主要用于热电厂冷却用水,少部分用于工业生产用水,运行10年来效果良好,效益可观。

3) 道路、绿地浇洒用水。喷洒用水的水质要求应该比工业用水更严格,因为它影响沿路空气并可能与人体部分接触,大连经济开发区应用污水再生水喷洒街道花园,林荫绿带,节省了大量自来水。

4) 城区中水道。中水道以冲厕所等杂用水为主,一般是以大厦或居民小区为独立单元,自行循环使用。在有条件的城市可以在大片城区内建设广域中水道,供千家万户使用。并应与工业冷却用水,绿地、景观用水相结合,形成统一再生水供水系统。

5) 融雪用水。日本融雪用水占全部再生水使用量的11%,在我国北方也有应用前景。

6) 农业用水。污水处理水用于农业灌溉不仅节省了水资源,同时也使回归自然水体的处理水又经进一步净化,污水处理水用于农田应满足农田灌溉标准,一般二级水经过适当稀释就可以达到水质要求。

3.3 城市污水厂污泥回归农田,充作农作物的有机肥料

城市污水处理厂的任务不仅是将污水处理到排放标准或净化成再生水,另一个不可忽视的任务是污泥的处理、处置和有效利用。污泥的产生量干量约为处理水量的0.02%~0.03%,含水率80%的污泥量为0.1%~0.15%。 $10\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 的污水厂每天产生湿污泥100~150 t。迄今为止,各城市污水厂对污泥的处理与处置没有引起充分注意,更多

污水厂为脱水污泥的处置所困扰。

目前脱水污泥的处置多半以填埋为主,不但污染地下水,而且填埋场地越来越困难。国外污泥焚烧技术比较发达,其设备庞大,能耗高,焚烧气中二恶英的发现,给焚烧技术增加了新的困难。笔者认为我国大量的污水厂污泥出路应该回归农田,充作农作物的有机肥料。这是自然规律所决定的,是N, P, K营养成分在土壤-作物-人畜-排泄物-土壤间的物质循环所决定的。在水冲厕所和下水道未普及之前, N, P, K就是这样循环的。如果污泥不回归农田做肥料,就切断了这种循环,土壤越来越贫瘠,只有靠人工肥料来补充,于是化肥无节制地使用,形成农田径流对水体的污染和农作物品质的退化。从这个根本意义上讲,污水厂污泥回归农田是其正常归宿。但是,必须进行无害化处理。

3.3.1 除害处理 污泥中含有重金属等有害成分,而且重金属可以随食物链进入人体,危害健康与生命。污泥中的重金属来自个别的工业生产工艺,如电镀等行业。这些少量工业废水在排入城市下水道之前,本应该进行局部除害处理,达到工业废水排入下水道标准才能排放。如各企业能够遵守这个规则,政府主管部门能够认真负责监督,重金属不会进入城市污水,就不可能转移到污泥之中。一个城市个别企业,少量含重金属等有害成分的工业废水除害处理的消耗是很有限的,技术是成熟的。如果管理得当,这个问题完全可以解决。

3.3.2 污泥肥效与施用 城市污水污泥是天然的有机肥料,是缓效肥。其主要成分是传统的城市粪肥,废弃这种自然肥料是不明智的。各城市污水厂应建立污泥肥料厂或车间。将消化脱水污泥进一步进行发酵堆肥、干化、造粒,形成有机颗粒肥、有机复合肥,装袋外销。开发施用于不同作物、不同生长期的特效肥料,那么污泥肥料的市场应是广阔的。我们必须倡导城市污水厂污泥再回到农田去,为创造绿色农业服务。

4 为创建水环境科学与工程学科而努力

在水环境日益恶化的今日,如何遏制恶化趋势,重新建立起水的健康循环,恢复良好水环境,是当前水资源可持续利用,人类永续发展的根本性问题。如果不及时研究水环境恢复理论,确定适当

的路线、方针和相关技术经济政策，不及时研究水健康循环的工程规划思想和相应的工艺技术，地球上清静的淡水资源早晚有枯竭的一天。紧迫的客观实际呼吁建立水环境科学与工程学科，专门从事水环境恢复理论与工程技术的研究，集中市政工程给水排水专业和环境工程从事水污染防治专业的专家、学者、工程技术人员组成水环境科学与工程队伍，传统的给水排水学科，是研究城镇供水与排水工程，保证供水可靠性和安全性，保证城市污水、雨水的及时排除及处理的工程技术学科，其所涉及的和关心的是城市一个点的供水和污水排放，对城市所在流域研究甚少。环境工程中的水污染防治，主要也是研究工业点源污染的治理，也没有放眼流域水环境。没有一个放眼流域甚至全球从事水环境研究的专门队伍，没有从事水健康循环系统工程研

究设计的专门工程技术队伍，水环境恢复和维系事业就没有了科学依据和人才基础。我们应当呼吁水环境科学与工程学科的确立，并为之努力。从水环境角度来从事城市、工业、农业、生态环境的供水，污水处理与再生，建立水的健康循环，恢复良好水环境。

参考文献

- [1] 张 杰. 水资源、水环境与城市污水再生回用 [J]. 给水排水, 1998, 24(8): 1
- [2] 张 杰. 水资源可持续利用——污水处理战略 [J]. 供水排水, 1999(3): 1~20
- [3] 张 杰. 城市污水深度处理与水资源可持续利用 [J]. 中国给水排水, 2001, 17(3): 20~21
- [4] 张 杰. 城市排水系统的现代观 [J]. 中国工程科学, 2001, 3(10): 33~35

Water Environmental Recovery Policy in China

Zhang Jie, Cong Guangzhi

(*Department of Municipal and Environmental Engineering,
Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China*)

[Abstract] With the increasing deterioration of water environment, it is very urgent that an efficient method be found to control and rebuild a healthy recycling of water. Based on the relationship between natural and societal recycling of water, this paper highlights that social sustainable development should be harmonized with nature and shows that the recovery and maintenance of water environment should be based on a healthy societal recycling of water. A systematic theory and strategy of water environmental recovery has been put forward for the first time and the authors hold that a new branch-water environment science and technology-should be established in order to provide scientific foundation and professional. It is elemental and essential that all kinds of water-related work should be carried out in terms of water environment.

[Key words] water environmental recovery; healthy recycling of water; water environment science and technology; sustainable usage