

应用水资源承载力理论对污水回用若干问题的探讨¹

姜文超² 龙腾锐² 何强²

摘要: 应用水资源承载力理论对污水回用的若干问题进行了探讨, 指出: ①污水回用是提高水资源承载力的一种有效途径, 应得到充分重视和大力推广; ②污水回用应遵循经济的原则; ③污水回用应采用收费方式运行, 其收费水平应结合自来水供给、污水处理和污水回用的生态环境保护功能综合考虑后确定, 自来水价和回用水价双梯次递增的收费体系是一种可行的备选方法; ④应采用整体的观点对污水回用项目进行设计、建设和管理; ⑤即使实施污水回用, 仍需加强需水量管理。

关键词: 污水回用 水资源承载力 水价

Perspective of wastewater reuse in China with respect to the theories of water resources carrying capacity¹

Wenchao Jiang² Tengrui Long² Qiang He²

Abstract: water deficiency has become one of the key limiting factors to the social and economic development of China, and wastewater reclamation and reuse should be considered an integral component of urban water resources strategy. With respect to the theories of water resources carrying capacity, some topics concerning wastewater reuse are discussed. It points out that: (1) wastewater reuse is an effective approach to increase urban water resources carrying capacity and should be put focus on and enhanced greatly; (2) economical efficiency should be considered one principle in determining if a wastewater reuse project be implemented; (3) wastewater reuse should be charged at an appropriate rate with cost-of-service analysis together with potable water supply and wastewater treatment, and the ecological and environmental benefits should be regarded as a part of the analysis, a dual inverted tariff system of reclaimed water and potable water can be considered one alternative; (4) wastewater reuse project should be designed, constructed and managed with potable water supply, wastewater treatment and relevant environmental standards; and (5) even with wastewater reuse, strict water demand management should be also enhanced.

Key words: Wastewater reclamation and reuse; water resources carrying capacity; tariff system

1. 前言

水资源是最重要的自然资源之一, 近年来随着人口增长、经济发展和城市化水平的提高, 全球普遍出现了水资源短缺的现象。据估计, 目前全球约有 4.7 亿人生活在水资源中度或严重紧张的地区, 如不采取适当措施, 到 2025 年该人口将上升至 30 亿^[1]。因此, 寻求合理的第二水源成了世界各国水资源管理战略的重要任务, 而污水回用被认为是一种有效的开源措施, 得到了广泛的重视。

我国是一个水资源紧缺的国家, 人均淡水资源不足世界平均水平的 1/4, 加之时空分布不均, 与

1 本文系国家自然科学基金重点项目(59838300)资助完成的部分内容。

This paper is parts of the research outcomes of China's National Natural Science Foundation key research program (59838300).

2 重庆大学城市建设与环境工程学院博士生

Faculty of Urban Construction and Environmental Engineering, Chongqing University, 400045

土地资源和其它自然资源的匹配不好,水资源紧缺的形势尤其严峻。据统计^[9],1996 年我国近半数城市缺水,其中 108 个严重缺水,日缺水量高达 1600 万 m^3 ,每年造成工业损失逾千亿元,缺水造成的损失比洪灾造成的损失还要大^[10]。在北方许多地区,由于缺水导致地下水长期过量开采,造成地面沉降和海咸水入侵等许多环境问题,制约了社会经济的持续发展。随着人口的增加,我国水资源供需矛盾还将进一步加剧,提高污水回用水平对于我国具有更加迫切的现实意义。

我国从“六五”期末开始一直十分重视污水的资源化利用,并连续在“七五”、“八五”和“九五”期间将其列入国家专项研究课题,据悉“十五”攻关课题的有关方面正在审议中^[11]。通过上述攻关,开发出了一些适用的回用处理技术,并建立了一定的回用标准,一些示范或中试工程在大连、青岛、深圳等城市也纷纷开展,但总体看来,目前大多数污水回用项目依靠财政补贴运行,可持续性不足^[12]。本文运用水资源承载力的有关理论,对污水回用的若干问题进行了探讨,澄清了污水回用的有关实质,并提出了相应的对策。

2. 水资源承载力及其内涵

承载力概念已经有很久的历史,有人认为它最早在上世纪初被应用于牧场或农场的管理^[13],有人认为它最早被应用于生态管理^{[14][15]},但大都认为它是被纳入生态学学科后才被赋予科学的含义的,一般定义为“一定的地理空间中某种生物‘不能再行增加的数量上限’^[16]”,目前已被广泛应用于人口研究、环境规划和资源管理等许多领域,具有多种多样的表述方式和极为丰富的内涵。

承载力概念于 20 世纪 80 年代末在我国被应用于水资源开发利用和管理,但当时没有得到深入研究,其内涵和量化方法都处于萌芽状态。近年来随着我国许多地区特别是北方普遍出现缺水现象,水资源承载力概念得到了新的关注并成为研究的热点之一,被视为实现水资源的优化利用、判别水资源的开发利用与社会经济发展的协调程度及将水资源的开发限量纳入城市规划考虑的有效工具。

水资源承载力是一个地区水资源的数量和质量与开发利用实践相互作用关系的综合体现,是在一定的时期内和特定的技术和管理水平下,在维持自身循环更新和环境质量不被破坏的情况下,一个地区的水资源所能承载的人口数量或社会经济发展规模,它具有以下四个方面的内涵:

(1) 水资源量的极限性。一个城市或地区的水资源的可开发利用量是有限的,该城市或地区的各种社会用水需求只能在这个可开发利用限度内进行,并必须保证水资源自身更新和维持水生生态系统正常运行所需要的基本生态用水量。目前我国北方很多城市过量开采地下水,导致许多不良后果,就是忽略了水资源量的限制,超越了当地水资源在量上的承载能力。

(2) 水资源环境容量的极限性。除了在数量上的极限外,一个城市或地区的水资源在质量上也有一定的承载极限,表现为水体对污染负荷的接纳容量是有一定限度的。当污染负荷超过了水体的环境容量时,将导致河流使用功能的丧失,进而影响到其可开发利用程度。

(4) 社会经济发展的最大规模或人口容量。水资源承载力不但表现在上述水资源自身的特性上,还表现在水资源对社会经济和人口的支撑功能上,即水资源所能承载的社会经济发展规模和人口数量是有限度的,一旦社会经济发展超越这个限度,要么导致水资源过量开采或水环境质量下降,影响到水资源的生态和环境功能,要么导致实际人均生活水平下降或社会经济在长期上不可持续。社会经济的最大规模或人口容量包括数量和质量两个方面的含义,后者意味着当处于最大的社会经济发展或人口规模时,当地的人均生活质量要么也处于一种极限最大状态,要么处于当地居民所能普遍接受的最低水平。由于随着社会经济发展和人口增加,人们的物质生活水平可能会不断上升,而水资源拥有量则会不断下降,所以人均生活质量应是物质生活水平和人均水资源占有量的一个合理结合点,同样,“最大”的人口规模也应是数量和人均生活质量的一种最优组合。

(4) 水资源开发利用管理的最优化。水资源承载力是自然水资源和社会经济活动之间相互作用关系的综合体现,其相互作用可以通过一定的水资源管理加以调控,即水资源管理对水资源承载力有重要影响,是其内在的组成部分,当一个城市或地区的水资源达到其极限承载力时,也必然意味着其水资源管理应处于最优化的状态,说明水资源承载力有客观性和主观可控性相统一的特点。

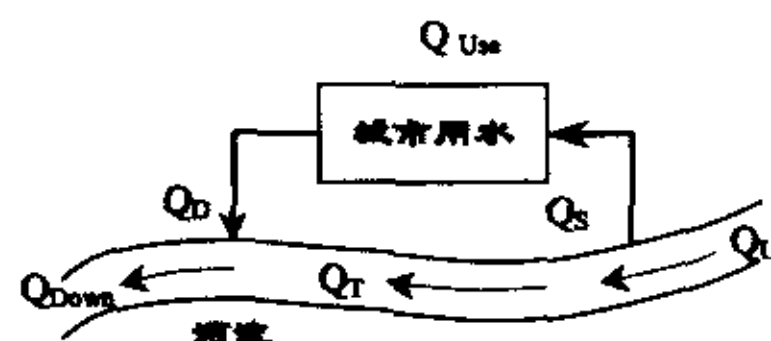
上述内涵表明, 水资源的开发利用应采用系统的观点, 既重视水资源的社会循环, 又重视水资源的自然循环; 既重视上游地区的利用, 又重视下游地区的利用; 既重视水资源的取用, 又重视水资源使用以后的回归; 既重视水资源开发利用的技术措施, 又重视水资源的政策管理。总之, 水资源承载力要求一个城市或地区立足于本地水资源量, 重视水资源的管理, 并遵循公平性、可持续性和最低生态安全标准等开发利用原则。

3 从水资源承载力看污水回用的若干问题

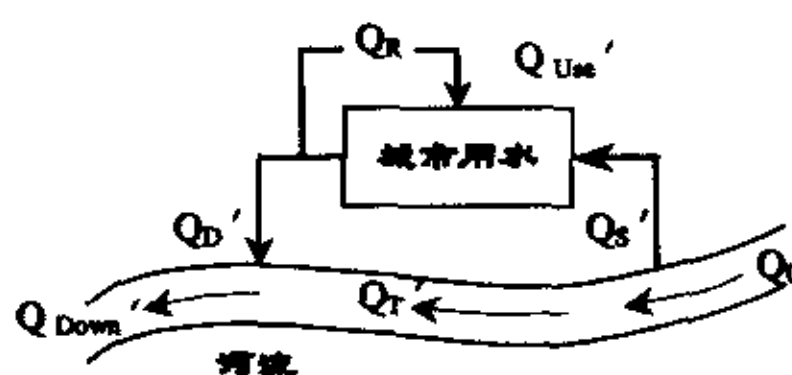
3.1 污水回用能够提高水资源承载力, 必须得到重视和推广

人类用水其实一直都是循环用水的方式: 上游用水以后排放到下游, 再在那里得到利用, 并通过水循环不断地持续下去。污水回用实质上是人类通过技术措施将上述自然循环过程大大紧缩, 延长水资源在社会循环中的停留时间。结合上下游关系, 笔者考察了污水回用对水资源承载力的影响。首先给出下面两个分析图:

(1) 不考虑污水回用



(2) 考虑污水回用



设一个城市入流水资源量为 Q_U 。对于情况 (1), 该地区的直接需水量为 Q_{Use} , 取水量为 Q_S , 回归水量为 Q_D , 本地区河流流量为 Q_T , 且 $Q_{Use}=Q_S$, 消耗水量 $Q_C=Q_S-Q_D$; 若过渡到情况 (2), 则从上一时刻 Q_D 中有 Q_R 部分被转移到下一时刻使用, 这时 Q_{Down}' 将比 Q_{Down} 小, 即下游的水资源量将受到影响, 城市污水回用相当于一个容量为 Q_R 的水库; 对于情况 (2), 若本地区直接需水量不变, 上一时刻转移来的 Q_R 水量将逐渐被消耗完, 此后污水回用将不再有增加水资源的作用, 因为回用固然使取水量减少, 但也使回归到水体的水量减少, 即 $Q_S'=Q_S-Q_R$, $Q_D'=Q_D-Q_R$, 则 $Q_T'=Q_T+Q_R$, $Q_{Down}=Q_{Down}'$ 。如果本地区的总需水量和用水量增大, 即 $Q_S'+Q_R>Q_S$, 则 Q_{Down}' 将小于 Q_{Down} , 这时下游的水资源量将不能够得到保证, 这意味着如果要想保证下游用水量, 本地区的总用水量不能持续增加。

综上所述, 污水回用并不能真正增加本地区可以开发利用的水资源量, 不过却具有以下重要作用: ①增加本地区水体中的生态和环境用水量, 产生生态环境效益; ②减少水体的污染负荷, 保护水环境; ③增加本地区水体流量, 增大河流内使用 (In-stream use) 潜力, 产生经济效益和环境观赏价值。所以从某种意义上说, 污水回用是一种水资源优化配置方式和水环境保护措施, 能够增加城市水资源的承载能力, 应该得到充分的重视和大力的推广。

3.2 污水回用必须遵循经济的原则

根据前面的分析, 若保证下游用水量, 污水回用并不是一种真正的开源措施, 而是一种水资源优化配置手段, 其主要意义在于保护水环境质量和提高水资源管理的经济性。其经济实质是用提供

Q_R 数量回用水的处理和管路系统费用来代替提供相应数量的自来水所需的处理费用、管网费用和取水费及相应的污水处理费用和排污费,同时创造河流内使用收益,即污水回用是在不增加总可用水资源的情况下,通过降低水资源管理的成本和优化水资源的配置来提高城市水资源的承载力的,所以一个城市是否上污水回用项目,必须坚持经济的原则,对自来水供给、回用水供给、污水处理和水环境保护的投资和运行费用进行全面的经济分析,只有当污水回用真正经济时才实施。

经济的原则要求污水回用,尤其是较大范围的城市污水回用必须采取收费方式运行,以增强其可持续性。我国污水回用目前最大的障碍之一就是过分依赖国家或城市的财政拨款,持续性不好,使污水回用的总体效果不显著,因此,对再生后的污水进行科学合理的收费,对于实现污水回用的持续进行及其各项生态环境和社会经济功能具有重要意义。污水回用的经济原则也要求必须尊重城市或地区的实际情况来实施,不能不加分辨地强制执行。

3.3 污水回用收费可以采用双梯次递增的水价体系

目前回用水价格大都按自来水价的百分比收取,很少按服务费分析(Cost-of-service analysis)即污水回用的投资和运行成本来确定^[17]。由于用户一般认为回用水水质劣于自来水水质,所以不太可能接受回用水水价高于自来水水价,故回用水水价必须低于自来水水价才具有可操作性。但由于污水回用项目一般是新建项目,需额外增加管路系统和专门的处理设施,在很多情况下其单位成本可能比自来水还高,所以低收费不能保证污水回用持续进行,如果对回用水按成本收费,又可能超过城市居民愿意支付的水平,造成用户不使用回用水,这样就导致回用水收费和持续运行的二难选择,这是目前大多数污水回用项目所遇到的难题。笔者认为,根据前面的分析,污水回用的主要效益在于环境保护和生态安全维持、避免环境保护投资、生态破坏损失和相应部分的饮用水供给投资,其直接受益方是饮用水供给,故应将这部分效益计入自来水水价,所以认为可以采用自来水水价和回用水水价双梯次递增的收费体系,具体方法是:将自来水与污水回用成本和水环境保护效益结合起来统一考虑,将污水回用所产生的生态环境效益和自来水的间接收益转移到自来水水价上,据此同时确定自来水水价和回用水水价,并保持自来水水价整体上高于回用水水价,且两者都随用水量的增加梯次递增,其中自来水水价增加的部分用来补贴污水回用。采用这种方法,不仅可以同时鼓励节约饮用水和回用水,而且由于自来水价格整体上高于回用水价格,使用回用水越多受益也越多,所以能够产生一定的激励作用,并能平衡污水回用的供给成本,避免出现当回用水使用量很大时收费不能补贴污水回用的极端现象。这种收费方式既有充分的依据,又具有整体性和可操作性,能够体现污水回用的环境效益,并能从整体上刺激节约用水,切实降低实际用水量,是一种可行的备选方法。总之,城市污水回用要求现有水价制定机制必须将自来水水价与回用水水价结合起来考虑,并采用市场的方式运行。城市有关部门还应开展一定的污水回用宣传教育,使公众了解回用水的水质状况及其生态环境保护功能,以配合这种收费体系。

3.4 采用整体的观点对污水回用项目进行设计、建设和管理

水资源承载力理论要求采用一种全面的观点对水资源进行管理,污水回用为当前的给排水体制提出了挑战,必须将其与居住区建筑给排水系统、城市给排水管网系统、给水和污水处理厂及环境标准综合考虑加以设计、建设和管理。我国传统上对排水体制一直是合或分的争论,对污水处理则一般主张集中进行,工业废水经过预处理后排入城市污水处理厂合并处理。在考虑污水回用的情况下,这种认识未必合理。如对于污水处理厂出水用作农业灌溉这种回用方式,集中的污水处理要求有足够面积的灌溉农田,这在现代城市较难满足,而相比之下分散处理则显得比较方便,而且工业废水引入到城市污水后,即使是先经过预处理,再经过二级处理,仍有相当数量的重金属离子和其它不易降解的污染物保留在城市污水厂的尾水中,并可能累积下来影响到作物生长和人身健康。为增加经济性和适用性,城市污水的二级处理也有与回用处理结合起来考虑的必要性,如间接的回用方式同时具有污水处理的功能^[18]。总之,污水回用为当前的排水体制和污水处理提出了许多挑战,要求结合城市实际情况对污水回用和城市给排水体系进行系统考虑,从这个意义上,将污水回用统一到城市建设部门进行管理似较为可行。

3.5 即使实施污水回用, 仍需加强需水量管理

污水回用对水资源承载力增加的作用是有限的, 在考虑上下游公平使用和水量回归的情况下, 污水回用并不能真正增加本地区的水资源量, 所以在实施污水回用的情况下, 仍需对需水量加强管理。事实上, 只有在维持需水量不持续上升的情况下, 污水回用对于缓解水资源短缺才是有意义的。一定要避免有了污水回用就可以大肆增加用水量的错误认识, 防止一方面在实施污水回用, 另一方面又在滥用水资源的错误做法。

4 结论

水资源紧缺既是发展的结果, 又是进一步发展的瓶颈。一个城市或地区的水资源对其社会经济和人口的承载能力是有限的, 而污水回用是提高这一承载力的有效途径, 必须得到充分重视和大力推广。从水资源承载力的角度来看, 污水回用必须遵循经济的原则, 采用收费方式运行, 并采用整体的观点与城市供水、排水和水环境综合保护结合起来加以设计、建设和管理。在实施污水回用的情况下, 仍需加强需水量管理, 切实实行节约用水, 防止在污水回用的情况下出现新的滥用水资源的情况。污水回用的收费方式将是未来的研究重点之一。

参考文献

1. Postel, S. Water and world population growth. *Journal of AWWA*, 2000, 92(4): 131-138
2. Riper, C. V. and Geselbracht, J. Water reclamation and reuse. *Water Environment Research*, 1998, 70(4): 586-590
3. Lazarova, V. et al. Enhancement of integrated wastewater management and water reuse in Europe and the Middle East. *Wat. Sci. Tech.*, 2000, 42(1-2): 193-202
4. Asano, T., Maeda, M. and Takaki, M. Wastewater reclamation and reuse in Japan: overview and implementation examples. *Wat. Sci. Tech.*, 1996, 34(11): 219-226
5. [美]桑德拉·波斯泰尔. 最后的绿洲(吴绍洪等译). 北京: 科学技术文献出版社, 1998. (原版: Postel, S., Last Oasis. Worldwastch Institute, 1992)
6. Kanarek, A. and Michail, M. Groundwater recharge with municipal effluent: Dan Region Reclamation Project, Israel. *Wat. Sci. Tech.*, 1996, 34(11): 227-233
7. Salgot, M. and Pascual, A. Existing guidelines and regulations in Spain on wastewater reclamation and reuse. *Wat. Sci. Tech.*, 1996, 34(11): 261-267
8. 聂梅生. 美国污水回用技术调研分析. 给水排水, 2001, 27(9). 见: <http://waterwaswater.com/p010901.htm>
9. 中华人民共和国年鉴社编辑部. 中华人民共和国年鉴 1998. 北京: 中华人民共和国年鉴出版社, 1999: 555-556
10. 中国工程院“21 世纪中国可持续发展水资源战略研究”项目组. 中国可持续发展水资源研究报告. 中国工程科学, 2000, 2(1): 1-17
11. 周彤. 污水回用是解决城市缺水的根本途径. 见: http://www.gpszx.com/ckwz/art_show.php?art_cnt=739
12. 沈光范, 徐强. 积极稳妥地开展中水回用工作. 中国给水排水, 2001, 17(4): 31-32
13. Price, C. Carrying capacity reconsidered. *Population and Environment*, 1999, 21(1): 5-26
14. 陈春生. 环境容受力分析与都市成长管理之研究: 以台北都会区水资源个案为例. 国立台湾大学建筑与城乡研究学报, 1987, 3(1): 133-144
15. Botton, B. The carrying capacity concept in fisheries management. *Carrying Capacity Workshop: Council Measure 7. IA, Report 3 of 4* (Eds.: Johnson, G. E., Duane A. Neitzel, D. A. and Mavros, W. V.), 1996: 23-32. Also on: <http://www.efw.bpa.gov/environment/ew/ewp/docs/reports/habitat/h62611-8.pdf>
16. Odum, E.P. *Fundamentals of Ecology*. W.B. Saunders Co., Philadelphia, PA, 1959
17. Cuthbert, R. W., Hajnosz, A. Setting reclaimed water rates. *Journal of AWWA*, 1991, 91(8): 50-57
18. 茹继平, 李大鹏. 城市污水再生利用新模式的探讨. 中国给水排水, 2001, 17(5): 33-35