

# 缺水地区城镇污水水源开发的意义及 亟待研究的几个问题

司渭滨<sup>1</sup>, 吕永涛<sup>2</sup>, 杨永哲<sup>2</sup>, 刘晓君<sup>1</sup>, 王志盈<sup>2</sup>

(1. 西安建筑科技大学管理学院, 陕西 西安 710055; 2. 西安建筑科技大学环境与市政工程学院, 陕西 西安 710055)

**摘要:**随着水资源供需矛盾日益加剧, 再生水作为替代水源成为缓解水资源紧缺的重要措施. 概述了我国的水资源现状、水资源缺乏的原因和因缺水造成的重大损失, 阐释了缺水地区将城镇污水开发为稳定水源的概念和特点, 并从解决缺水地区水资源供需矛盾、确保生态需水量、严格实施污水治理政策等方面论述了新生水源开发的意义, 提出了新生水源法规政策的制定、标准的建立和处理技术的研究是目前亟需解决的几个科学问题.

**关键词:**水资源缺乏; 再生水; 城镇污水; 新生水源; 缺水地区

**中图分类号:** X37

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1006-7930(2011)01-0058-06

在地球水体总量中, 淡水储量仅占 2.5%, 易于开采供人类直接使用的淡水资源还不足全球淡水资源的 1%, 确切地说, 地球上水的总储量中只有 0.007% 可以供人类直接使用, 因此, 地球上的淡水资源是“有限”的. 水的使用用途十分广泛, 除了是地球上一切生命赖以生存的基本物质外, 人类的其他一切活动—生活、生产、娱乐等都离不开水, 且是其它任何资源所无法替代的. 水资源的分布不均、环境的污染和用水量的不断增加, 使这一地球最基本的生存资源正面临枯竭恶化的危机<sup>[1]</sup>.

人均水资源占有量少. 我国是世界上 13 个典型贫水国之一, 人均水资源量为 2 220 m<sup>3</sup>, 低于世界平均水平的 1/4, 居世界 121 位<sup>[2-3]</sup>, 且时空分布不均.

用水量不断增加. 随着经济快速发展、工业化和城镇化进程的加快, 用水量逐年增加, 据中国水资源公报统计(图 1), 从 2003 年到 2007 年, 全国用水量由 5 320 亿 m<sup>3</sup>/a 增加到 5 819 亿 m<sup>3</sup>/a, 且生活用水和工业用水的比例呈略微上升的趋势.

地表水体污染严重. 据中国环境状况公报统计, 从 2001 年到 2008 年间, 全国污水排放量逐年增加, 从 432.9 m<sup>3</sup>/a 增加到 572.0 亿 m<sup>3</sup>/a, 其中生活污水排放量由 230.3 m<sup>3</sup>/a 增加到 330.1 亿 m<sup>3</sup>/a. 地表水污染严重, 同一时期全国各大水系中低于Ⅲ类水质以下的河流占 40% 左右; 63.8% 的城市河段受到中度污染或严重污染, 97.5% 的城市地下水受到不同程度的污染; 近岸海域无机氮污染严重, 一类海域海水水质超标率为 60.3%、磷酸盐超标率为 55.8%, 海洋赤潮频发, 部分海域石油类超标严重<sup>[4]</sup>. 污染造成水资源的使用功能下降, 也加剧了水资源不足的矛盾.

缺水严重. 据统计, 全国 668 座城市中, 400 余座城市存在不同程度的缺水, 其中严重缺水的达 136 座, 平均缺水量达 1 600 万 m<sup>3</sup>/d<sup>[5]</sup>. 严重缺水城市主要集中在北方, 占全国的 2/3.

因缺水造成损失大. 据国家水利部统计, 1991 年以来, 我国平均每年因缺水造成粮食减产 280 多亿公斤; 城市、工业年缺水近 60 亿立方米, 影响工业产值 2 300 多亿元<sup>[2]</sup>.

而且, 随着工业化、城镇化、现代化水平的提高, 城市群的继续增加, 城镇规模的不断扩大, 我国城市

收稿日期: 2010-06-21 修改稿日期: 2010-12-31

基金项目: 国家水体污染与治理科技重大专项资助项目(2009ZX07212-002-004-003); 国家自然科学基金资助项目(51008243); 陕西省教育厅专项基金资助项目(09JK543); 西安市科技计划资助项目(CXY09025(4))

作者简介: 司渭滨(1980-), 男, 陕西西安人, 博士生, 主要从事缺水地区分散污水处理的管理与投资决策及时研究.

用水量不断增加,水资源的供需矛盾将愈演愈烈.

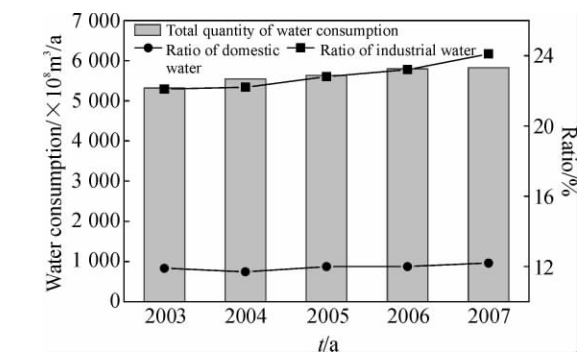


图 1 用水量和用水比例变化图  
Fig. 1 Variation of water consumption and ratio

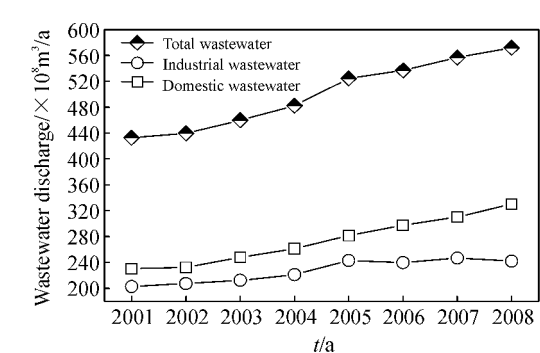


图 2 排水量变化图  
Fig. 2 Variation of wastewater discharge

西安市水资源现状. 地处西部半湿润地区的西安市,属于资源型缺水城市,全市人均占有水资源不足 350 m<sup>3</sup>,仅为全国人均水资源占有量的 13%,低于国际公认的人均年拥有量 500 m<sup>3</sup> 的绝对缺水线,属严重缺水城市<sup>[6-8]</sup>. 据《西安市水的中长期供求计划报告》预测,到 2010 年西安市总需水量为 3.8×10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>/a,水资源供应缺口达 1.4×10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>/a;2030 年全市需水量将达到 5.2×10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>/a,缺水量达 2.4×10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>/a. 水资源的缺乏已经成为影响西安经济发展的潜在威胁. 地下水超量开采、地下水位下降、地裂缝的发生,可能诱发地表污染物转入地下,污染地下水,使生态环境遭到破坏. 因此,开发新生水资源,已成为解决供需水矛盾的重要途径.

1 城镇污水作为新生水源的特点和意义

(1) 稳定的水量是城镇污水作为新水源的重要特点

城镇污水水量不受季节、雨旱、洪水枯水等影响,只要人类的生活和生产活动不止,便有稳定水量的污水产生;地表水源受降雨量和季节变化影响大,在枯水期或干旱季节,其水量减少,同时农业用水量增加. 相对于地表水源,城市污水作为新生水源具有更大的可靠性.

(2) 新生水源的开发是解决缺水地区水资源供需矛盾的战略性的措施

在现代化城市用水中约有 40%的生活、生产用水与人们的健康生活紧密相关;而多达 60%的城市用水,主要是工业生产、环卫清扫、消防用水和绿化用水,甚至家庭中的部分用水(冲厕、拖地等),其给水质量并不需要等同于自来水水质标准<sup>[4]</sup>. 80%—90%的城市供水最终汇集排入城市污水管网中,如果将城市污水收集起来经过处理后作为新生水源水加以利用,则最大约有 70%可以安全回用. 从理论上讲,如果一个城市的生活污水能作为新生水源循环利用,则这一城市新鲜取水量可以削减 45%—50%,从而大大减轻城市供水的负担.

以西安为例进行分析,目前城市污水总量约 100 万 m<sup>3</sup>/d,截至 2009 年 7 月,污水处理能力达到 90 万 m<sup>3</sup>/d(表 1),实际日处理污水量 63.8 万 m<sup>3</sup>,再生水日处理能力已达 25.5 万 m<sup>3</sup>/d,但是因输送设施不足和观念认识等问题再生水利用总量仅为 2.3 万 m<sup>3</sup>/d,不到西安市再生水规划水量的 10%. 也就是

表 1 西安市污水处理厂规模  
Tab. 1 Scale of wastewater treatment plant in Xi'an city  
单位: ×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d  
Unit: ×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d

Name of WWPT	Deng Jia Village	Bei Shi Qiao	Fang Zhi Town	Dian Zi Village	Yuan Le Village	Northwest Suburb
Wastewater design scale*	12	15	10	25	20	8
Reclaimed water design scale*	6	5	5	8	—	1.5

\* The scale was designed for short term.

说,约 60 万  $\text{m}^3/\text{d}$  的污水经过二级处理后直接排掉,如此大的水量直接排放水体造成水资源的极大浪费.如果二级处理后有 45 万  $\text{m}^3/\text{d}$ (回用率按 45%计)的污水经过深度处理作为稳定水源用于工业生产,那么可节约新鲜水量约为 1.6 亿  $\text{m}^3/\text{a}$ .在西安这样一个严重缺水地区,对缓解当地水资源供需矛盾方面起到重要作用.

### (3) 新生水源的开发是保护地表水质量与功能的需要

从开发利用过程看来,新生水源水是污水的深度处理并循环使用的过程,其结果是减少了新鲜水的取水量和污水的排放量,因此必然起到积极改善生态环境质量的作用<sup>[9]</sup>.以排放为目标的城镇污水的处理模式、法律的监管的缺漏与水质监控的不完备,共同为业主的不达标排放甚至不处理排放造成投机空间;以回用为目标时,水质的用途约束业主必须把污水处理当成生产的一部分,从而赋予了极大的责任心.国家投资近千亿元治理“三河三湖”6 年,水质仍较差,其主要原因是部分污水处理厂无论在水量还是水质方面,实际处理能力没有达到设计要求,不处理、不达标的投机性排放使得大量投资建设的污水处理设施形同虚设.

另外,由于城镇污水排放标准限值过宽,远高于水环境质量标准,污染加剧水体纳污能力降低,使得地表水环境欲得到有效改善十分困难.例如,城镇污水处理厂污染物排放标准(GB18918-2002)中规定,一级标准(B 标准)中规定 COD 的限值为 60  $\text{mg/L}$ ,而地表水环境质量标准(GB3838-2002)中规定 II 类和 III 类功能区的 COD 限值分别为 15 和 20  $\text{mg/L}$ ,因此,欲使排放量为年的城市污水(达到一级 B 标准)达到 III 类功能区的水质标准,则至少需要 8a 的 II 类功能区的水量进行稀释,也就是说如果污水经过处理后排放,即使达到目前规定的“很高”的排放标准也难以使水环境得到改善.如果 45%的西安市城镇污水作为新生水源循环使用,则减少了 COD 排放量  $9.9 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{a}$ (按一级排放 B 标准计),创造了巨大的环境效益,对保护地表水质量起到不可限量的作用.又为工业用水户节约了 3.8 亿元(目前西安市工业用自来水价格为 3.45 元/ $\text{m}^3$ ,再生水价格 1.17 元/ $\text{m}^3$ )的巨额费用.

### (4) 新生水源的开发减少取水量,为实现水体生态流量提供保证

随着城镇化的加速进程和城市人口的膨胀,城镇取水量的增加,使生态用水量越来越少,导致部分河道和地下水达到甚至超过其临界的生态需水量,从而引发一些生态问题,严重破坏的生态环境.地表水的功能主要是农业、工业、生活及生态需求,其中农业用水量最大(占 65%左右)且不可回收,但又不能不保证;生态用水属于不动的水资源;只有生活和工业生产用水是可以再生利用的水源,因此将城镇污水作为新生水源大量回用是节水和保证生态需水量的根本.西安市 1989—2002 年间因过度取用地下水使潜水位平均下降了 5.7 m;并形成降落漏斗区,1995 年,区域性承压水下降漏斗面积扩大至 234.75  $\text{km}^2$ <sup>[10]</sup>,”八水绕长安”中有六水已经干涸,直到 1997 年后因黑河引水供水量大大增加后承压水位才趋于平稳.如果西安市城市污水作为稳定水源循环使用,可减少新鲜水的取水量 1.7 亿  $\text{m}^3/\text{a}$ (回用率按 45%计),从而保证了河道和地下水的生态需水量.

### (5) 城镇污水作为新生水源是现阶段水处理技术及我国经济力量可以实现的目标

《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918—2002)是国家环保部于 21 世纪初制定并于 2003 年 7 月 1 日正式实施,污水排放标准一级排放标准中 A、B 标准是基于排放去向、并受到当时经济实力和污水处理技术因素制约划分的.近年来,我国经济得到蓬勃发展,据中华人民共和国统计局统计,2002 年到 2008 年,我国国民生产总值由 10 万亿元增长到 30 万亿元;水处理技术也得到快速发展,再生水作为一种合法的替代水源在世界范围内得到广泛应用充分证明了污水处理技术的可行性<sup>[11-12]</sup>(表 2).因此,现阶段将城镇污水作为新生水源是水处理技术和我国经济力量可以实现的目标.

表 2 国际再生水回用典型实例

Tab.2 Typical cases of wastewater reuse

工程实例	运行时间	规模 (/万 m <sup>3</sup> · d <sup>-1</sup> )	回用去向	处理技术
美国 Scottsdale water campus 系统	1980 至今	3.7	利用渗流区域的注入井将净化水注入地下备日后需要时抽出使用	微滤+反渗透
新加坡 NEWater 再生水厂	2003 年至今	1.36	将回用水与水库水进行混合,用于增加马来群岛新鲜水的供应,并为 50 家高技术产业和半导体工业提供纯净水	微滤+反渗透(双膜)+紫外消毒
以色列 Dan Region 工程	——	270	Tel-Aviv 地区和邻近地区城市回用和地下回灌	——
纳米比亚首府温得和克	①初建 1968—2002 ②扩建 2002 年至今	①0.48 ②2.1	世界第一座饮用水再生水厂,回用水在配水前同 Goreangab 水处理厂处理的饮用水混合,出水再同其他水库的水进行混合	①气浮除藻+泡沫分离+化学澄清+砂滤+颗粒活性炭+氯化消毒 ②臭氧预氧化+气浮+砂滤+臭氧氧化+活性炭吸附+超滤+氯化消毒

2 新生水源开发亟待研究的几个问题

(1) 新生水源水开发的法规、政策的制定

① 把新生水源利用纳入城市建设规划

要促进新生水源水的应用和推广,缺水地区城市规划和水资源规划中把城镇污水作为稳定的水源的进行规划,并将新水源的开发作为缓解城市水资源短缺最重要的战略措施. 在新建污水处理厂和污水管网规划设计中应将新生水源管网纳入供水规划中进行统筹考虑,并将新生水源分阶段回用于集中式工业生产和日常生活的非饮用方面;在已建设污水处理厂的地区,新生水源开发利用还受管网制约,如何利用分散式就地收集处理污水并资源化以及如何组织管理是新生水源开发利用应予以重视并进行研究的问题<sup>[13]</sup>.

② 合理的新生水源利用机制

新生水的利用既要使推行新生水的使用法制化,在缺水地区强制推行新生水的使用;又要通过经济激励政策推动新生水的市场化运行,拉大工业用户用自来水和新生水源水的价格比,使新生水得到推广和广泛应用.

③ 提高宣传力度,克服污水作为水源的心理障碍

一方面,要大力宣传水资源紧缺和水环境污染现状,让群众深刻了解现在面临的水危机;另一方面,大力开展利用污水回用产生的资源、环境和经济综合效益的宣传教育活动,并宣传发达国家和缺水国家污水回用实例,普及污水资源化知识,树立新生水源成为解决城市供需水矛盾的正确观念;最后,宣传污水资源化技术的安全可靠性,以消除群众思想上不必要的顾虑<sup>[14]</sup>.

(2) 新生水源水质标准的建立

目前我国城镇污水处理厂污染物排放标准和再生水回用标准分类较多,GB18918—2002 中排放一级标准中的 A、B 标准是依据技术工艺与排放去向而定的<sup>[15]</sup>;再生水按不同回用去向分为农田灌溉、城市杂用、工业用水、景观环境用水和地下回灌等. 比较二者可以发现,城镇污水处理厂出水水质达到二级标准就可用于农田灌溉,达到一级 B 标准可满足城市绿化和部分工业用水(包括直流冷却水和洗涤用水)的大多指标要求,根据以上这些用途可以划定一个标准;达到一级 A 标准可以满足工业用水、城市杂用水和河道观赏性景观环境用水要求,这些又可划定一个标准;对于其他景观环境用水(包括湖泊、水景类观赏类景观环境用水和娱乐性景观用水)和地下水回灌用水,则需在传统深度处理的基础上作进一

步处理,划定为一个标准.经过科学分析和比较,按处理后再生利用途径制定少量新生水源标准是新生水源开发利用需要研究的重点问题之一.

### (3) 新生水源水水处理技术研究

在利用传统的深度处理技术包括混凝、沉淀、过滤和消毒等技术,需要对城镇污水水质、性质特别是对溶解物的组成性质、细菌学特征等进行更深入的科学研究,形成适于污水再生处理的理论与方法.在实现了现有《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918—2002)一级排放标准中的A标准,可满足目前制定再生水中大部分回用水质要求.在此基础上,需对BOD<sub>5</sub>、COD、浊度、溶解性固体和细菌等作进一步处理,达到更高标准要求.近年来,污水深度处理技术的不断得到完善和发展,尤其是适于污水再生的膜技术的开发及在水处理方向的研究与应用,使处理出水水质不断提高,可达到其他景观环境用水(包括湖泊、水景类观赏类景观环境用水和娱乐性景观用水)和地下水回灌用水标准,甚至能达到更高的水质使用标准,为新生水源的开发提供了技术支撑,例如微滤、超滤、纳滤、反渗透和膜生物反应器等<sup>[16]</sup>,并已经开始得到应用.目前,开发低成本的深度处理技术是新生水源开发亟需解决的问题之一.

## 3 结 论

本文从水环境危机的现状出发,根据城镇污水水量稳定性的特点,从解决缺水地区水资源供需矛盾、保护地表水质量与功能、保证生态需水量的迫切要求、严格实施污水治理政策等方面论述了新生水源开发的特点与意义,认为在缺水地区开发新生水源对解决供需水矛盾、保证生态基流、保护地表水质量与功能方面具有特殊的重要意义;是现阶段水处理技术和我国经济力量能达到的目标.提出了城镇污水作为稳定水源在城市规划和政策研究、水质标准和处理技术研究等方面亟待解决的问题.

## 参考文献 References

- [1] BIXIO D, THOEYE C, DE KONING J, et al. Wastewater reuse in Europe [J]. Desalination, 2006, 187(1): 89-101.
- [2] 张光斗, 钱正英. 中国水资源可持续发展水资源战略研究综合报告及专题报告[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001.  
ZHANG Guang-dou, QIAN Zheng-ying. Synthesis report for sustainable waster resource in China[M]. Beijing: China Water Conservancy and Hydropower Press, 2001.
- [3] JUNYING C, JINGING C, CAN W, et al. Wastewater reuse potential analysis: implications for China's water resources management[J]. Water Res, 2004, 38(11): 2746-2756.
- [4] 黄晓家. 城市再生水(中水)回用发展方向[J]. 建设科技, 2008(21): 28-29.  
HUANG Xiao-jia. Development of reclaimed water (grew water)[J]. Construction Science and Technology, 2008 (21): 28-29.
- [5] 石 辉, 彭可珊. 我国的水资源问题与可持续利用[J]. 中国人口资源与环境, 2002, 12(6): 23-25.  
SHI Hui, Peng Ke-shan. Problem and sustainable utilization of water resources in China[J]. China Population, resources and environment, 2002, 12(6): 23-25.
- [6] 樊春贤. 西安市水资源可持续利用的研讨[J]. 地下水, 2007, 29(1): 17-19.  
FAN Chun-xian. Discussion of sustainable water resources in Xi'an city[J]. Ground Water, 2007, 29(1): 17-19.
- [7] 吴 键, 张 理, 王社平. 西安市城市污水处理及其再生利用[J]. 给水排水, 2003, 29(2): 13-18.  
WU Jian, ZHANG Li, WANG She-ping. On urban wastewater treatment, renovation and reuse in Xi'an city[J]. Water & Wastewater Engineering, 2003, 29(2): 13-18.
- [8] 葛芬莉. 西安市水资源及其可持续利用对策分析[J]. 陕西气象, 2004(1): 18-20.  
GE Fen-li. Water resources and strategy for reuse in Xi'an city[J]. Journal of Shaanxi Meteorology, 2004(1): 18-20.

- [9] 郑兴灿. 城市污水再生利用的定位与发展方向[J]. 给水排水, 2009, 35(2): 1, 23.  
ZHENG Xing-can. Location and development of municipal wastewater reuse[J]. Water & Wastewater Engineering, 2009, 35(2): 1, 23.
- [10] 姜规模, 韩凤霞. 西安城市地下水动态研究[J]. 城市勘探, 2007(2): 124-127.  
JIANG Gui-mo, HAN Feng-xia. The city groundwater region's study about Xi'an[J]. Urban Geotechnical Investigation & Surveying, 2007(2): 124-127.
- [11] WADE MILLER G. Integrated concepts in water reuse: managing global water needs [J]. Desalination, 2006, 187(1): 65-75.
- [12] 郭 瑾, 王淑莹. 国内外再生水补给水源的实际应用与进展[J]. 中国给水排水, 2007, 23(6): 10-14.  
GUO Jin, WANG Shu-ying. Practical application and development of surface and underground water sources recharged with reclaimed water[J]. China Water & Wastewater, 2007, 23(6): 10-14.
- [13] MANIOS T, TSANIS I K. Evaluating water resources availability and wastewater reuse importance in the water resources management of small Mediterranean municipal districts [J]. Resource, Conservation and Recycling, 2006(47): 245-259.
- [14] 杜建国. 再生水利用-缺水城市的水资源[J]. 中国水利, 2005(15): 20-22.  
DU Jian-guo. Recycled water utilization-water resources of water shortage cities[J]. China Water Resources, 2005(15): 20-22.
- [15] 马世豪, 何星海. 《城镇污水处理厂污染物排放标准》浅释[J]. 给水排水, 2003, 29(9): 89-94.  
MA Shi-hao, HE Xing-hai. Brief on the pollutant discharge standard of municipal wastewater treatment plants[J]. Water & Wastewater Engineering, 2003, 29(9): 89-94.
- [16] MARCUCCI M, TOGNOTTI L. Reuse of wastewater for industrial needs: the Pontedera case [J]. Resource, Conservation and Recycling, 2002(34): 249-259.

## Significance of wastewater reclamation as water resource and some urgent problems for water deficient regions

SI Wei-bin<sup>1</sup>, LÜ Yong-tao<sup>2</sup>, YANG Yong-zhe<sup>2</sup>, LIU Xiao-jun<sup>1</sup>, WANG Zhi-ying<sup>2</sup>

(1. School of Management, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China;

2. School of Environmental and Municipal Engineering, Xi'an University  
of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

**Abstract:** Water scarcity has been growing with the increment of municipal water supply and groundwater quantity deterioration. As a means to alleviate water deficiency reclaimed water has been used widely world-wide. In this paper, the water resources of China, causes of water scarcity and the losses caused by water scarcity were analyzed. The reclaimed water can be taken as a stable resource in water deficient regions. It can play an important role in resolving the water scarcity, satisfying ecological water requirement in carrying out the policy of wastewater treatment. Finally, several challenges for people to meet are briefly described.

**Key words:** water scarcity; municipal wastewater; new resource; reclaimed water; water deficient regions