

基于水资源承载力的城市再生水利用研究 ——以四川省德阳市为例

王彬^{1,2}, 何通国³, 李燕群¹, 古广华³, 刘刚³, 但德忠¹

(1. 四川大学 建筑与环境学院, 四川 成都 610065;

2. 绵阳师范学院 资源环境工程学院, 四川 绵阳 621000; 3. 德阳市水务局, 四川 德阳 618000)

摘要: 概要总结了城市再生水利用中的问题, 分析了这些问题产生的根本原因。基于对水资源承载力内涵的认识, 对城市再生水在水资源配置中的作用进行了探讨, 提出了基于水资源承载力的再生水利用思路。结合德阳市节水型社会建设的实际, 研究了德阳市城市再生水利用的思路、目标、实施措施及实施意义, 避免了目前再生水利用中产能不足、产能过剩、生产和利用不协调等问题, 研究结果可为资源型、水质型缺水城市利用城市再生水提供借鉴和参考。

关键词: 再生水; 水资源承载力; 德阳市

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2012)02-0242-04

中图分类号: TV213.9, X703

Utilization of Urban Reclaimed Water Based on Water Resource Carrying Capacity — A Case Study from Deyang City of Sichuan Province

WANG Bin^{1,2}, HE Tong-guo³, LI Yan-qun¹, GU Guang-hua³, LIU Gang³, DAN De-zhong¹

(1. Institute of Architecture and Environment, Sichuan University, Chengdu, Sichuan 610065, China;

2. School of Resource and Environmental Engineering, Mianyang Normal University, Mianyang, Sichuan 621000, China; 3. Deyang Water Affair Bureau, Deyang, Sichuan 618000, China)

Abstract: We summarized the issues found in the reclamation of urban water, and analyzed the major causes of these issues. Based on the connotation of water resource carrying capacity, we also addressed the status and potential contributions of urban reclaimed water in water resource allocation and piloted different ways to utilize the reclaimed water. Considered the policies aiming at constructing a water-saving society fulfilled by Deyang City, the approaches, objectives, measures and significance of urban water reclamation are discussed. Urban water reclamation could solve the issues in water resources such as overcapacity, insufficiency, and the conflicts between demands and supplies of the reclaimed water. The findings of the study could be used guidance for urban water reclamation in achieving the goal of water-saving.

Keywords: reclaimed water; water resource carrying capacity; Deyang City

开辟非常规水资源 加快污水资源化进程已成为近年解决水资源和水环境问题的重要途径。城市污水再生利用是开源节流、减轻水体污染、改善生态环境、缓解水资源供需矛盾和促进城市经济社会可持续发展的有效途径。许多国家和地区积极开展了污水再生利用的研究与推广工作, 在城市污水回用方面取得了很好的效果和经验, 并产生了显著的效益。同时, 城市污水的再生利用也存在许多问题及困难, 对于这些问题及其产生原因的正确认识和深入分析, 有助于城市再生水的恰当定位、合理分配和有效利用。

1 城市再生水利用现状分析

1.1 城市再生水利用现状及问题

目前, 为了缓解水资源紧张的趋势, 国内许多城市(北京市、天津市、大连市等)在再生水利用方面进行了积极的尝试, 缓解了城市水资源的紧张状况, 减轻了对水环境的污染, 充分提高了水资源的利用效率和利用效益, 对节水型社会的建设起到一定的推动作用。

再生水利用的传统方式往往是根据末端可能的用水需求进行配置^[1]。例如, 北京市再生水利用过

收稿日期: 2011-04-27

修回日期: 2011-07-09

资助项目: 水利部节水型社会建设专题基金资助“汶川地震后德阳市节水型社会建设实施方案研究”[水综节水(2010)70]

作者简介: 王彬(1977—), 男(汉族), 四川省绵阳市人, 博士研究生, 讲师, 研究方向为环境监测和水资源利用。E-mail: b_w007@126.com。

通信作者: 何通国(1964—), 男(汉族), 四川省德阳市人, 工程师, 研究方向为水资源管理。E-mail: scdyswo@163.com。

程中,通过对农业、绿化、工业和市政可能的再生水用水量进行估算,对供需能力进行平衡^[2];包头市再生水利用规划制定中,基于潜在用户的用水需求确定再生水的需求量,进而进行再生水利用规划^[3];贵阳市城市水环境规划与污水资源化研究,把可再生水量进行了类似的配置^[4]。传统的配置方式反映了目前国内城市再生水配置的特点和趋势,把再生水作为一种补充的手段,确定需求后再进行定量生产。尽管这种配置具备一定的优点,但实际运行中所凸显的问题也越来越多^[5],主要体现在^[5]:(1)再生水管网建设滞后,再生水管线与道路及其它管线规划建设矛盾突出,供应渠道不畅。(2)再生水市场需求不足,规划的部分用户未将再生水纳入使用,而有需求的用户又缺乏获得的途径。(3)再生水厂布局不尽合理,随着城市功能布局的不断调整,现有污水处理厂与污水收集管线布局不合理,导致城市再生水的生产和配置的空间不协调。(4)与再生水生产、运营及利用相关的政策法规不健全,缺乏有效的激励机制和管理体制。

1.2 国外再生水利用思路

20世纪,美国、以色列、日本等国在城市污水回用方面已非常普及,普遍使用双管供水系统(饮用水和再生水系统),再生水一般用于工业、冲洗厕所、城市绿化和消防等。美国把再生水作为城市合法替代水源和城市水资源系统的重要组成部分,其突出特点是集中处理回用;日本在各大城市创建并保留使用至今的“工业用水道”,纵穿全市,形成和自来水管并存的又一条城市动脉。以色列再生水利用最突出的特点是它已经把再生水作为国家水量平衡的重要组成部分,把回用所有污水列为一项国家政策。此外,阿根廷、巴西、智利、秘鲁、科威特、塞浦路斯、突尼斯等国都开始广泛利用再生水^[6-8]。

国外再生水利用形式各异,但在几个方面具有共性:(1)资源性。强调再生水的资源价值,把再生水作为城市水资源的重要组成部分进行规划和利用;(2)前瞻性。与其它水资源基础设施进行同步的规划和实施;(3)制度保障。美国、日本对再生水的利用具有一定的制度保障,而以色列已经上升到国家政策的高度;(4)科学性。美国强调集中处理回用,日本强调集中分散相结合,以色列强调全部回用,回用形式不同,但却最大限度地结合了国家和地区实际,以满足水资源的承载能力^[9-10]。

2 城市再生水利用中存在的问题

2.1 缺乏规划导致再生水利用的盲目性

当前,不少城市是迫于现有水资源不足而加强非

常规水源的利用,在利用之初,并未进行系统有效的规划,对于再生水利用的必要性、可行性缺乏研究,依据大致的水资源缺口盲目上马,导致再生水的利用目标和实际利用效果很难实现统一。规划是对于未来不确定性的缓解和补充,缺乏规划的再生水利用方案欠缺实施的基础和法律效力,难以达到预期效果,导致实施过程中的问题不断出现。

2.2 缺乏科学性影响规划实施的可行性

污水的再生回用涉及区域水资源配置中的水量因素、水质因素、时间因素、空间因素,对区域水资源承载力也有较大的影响。再生水的利用应该融入区域或城市水资源体系进行综合考虑和合理协调。当前再生水规划主要是通过粗略估算需求,依据现行再生水厂可提供的再生水量,进行两者的平衡。缺乏科学性的再生水利用规划在现实中就缺乏实施的可行性,对区域或城市水资源的优化配置作用非常局限,导致再生水利用无法有效融入城市水资源体系,造成再生水供需、空间配置不协调等问题。

2.3 城市再生水利用的机制体制建设滞后

缺乏地方性再生水利用的标准和规范;现行再生水开发利用管理职能尚未具体落实,缺乏部门间的协调机制;缺乏公众参与管理和监督的机制;缺乏再生水利用风险评价机制和突发事件应急管理制度;再生水水价体系不完善;投融资机制不完善。

2.4 缺乏对于再生水利用的公益性认识

再生水利用的公益性决定了政府需要在其中承担更多的责任,尤其是在基础设施的建设、政策法规的支持等方面。缺乏对再生水利用公益性的认识,政府和企业在城市再生水利用中就很难恰当定位。在推动再生水利用的基础设施建设、投融资渠道、再生水价格机制、水质标准问题等就难以理清和有效解决,对城市再生水利用的发展形成制约。

3 支配城市再生水利用的思路探讨

3.1 水资源承载力

联合国教科文组织关于水资源承载力的定义比较全面和准确地反映了水资源承载力的内涵。依据联合国教科文组织的定义^[11],一个流域或地区的水资源承载能力是指在可以预见的时期内,利用本地水资源及其它资源和管理、技术等条件,在保证其社会文化准则的物质生活水平和维持水循环系统自身功能条件下,所能持续供养的人口数量。这一定义反映了水资源承载力的时间尺度、空间尺度;反映了水资源承载力的动态性、相对极限性和可增强性;反映了水资源承载力中的水量因素、水质因素;强调了水资

源承载力中的管理因素,即智力和技术条件;突出了水资源承载能力研究的目的,即一定的水资源量可持续供养的区域人口数量。

3.2 城市再生水利用与水资源承载力的关系

城市再生水利用与水资源承载力有着密切的关系,城市再生水利用具有开源和节流的双重功效,既可以增加有效的水资源供应数量,提高水量承载力,又可以减少污水的排放量,提高水质承载力。水资源承载力的研究能恰当反映城市水资源的供需实际和承载现状,基于城市水资源承载力研究确定承载需求,可以为城市再生水的利用提供合理依据。正确认识两者的关系才能合理确定城市再生水在水资源配置系统中的地位、作用和目标,为城市再生水的科学规划、合理配置和有效利用提供理论基础和现实选择。

3.3 基于水资源承载力的城市再生水利用思路

传统的再生水规划和利用思路往往从需求层面来决定供给,对于再生水在城市水资源配置中的地位表达含糊、主观、单一。基于水资源承载力的城市再生水利用思路,力求从区域水资源和社会经济发展的角度确定水资源的承载力需求,结合承载力需求和区域污水处理实际,确定再生水在区域水资源配置中的地位、作用、合理利用规模和具体利用思路,进行措施的反向分解和针对性的用户安排,进而进行详细的规划、建设和利用,其思路主要体现在:(1)立足于区域水资源承载力,通过水资源承载力的核算和水资源利用目标来确定水资源的承载需求;(2)依据区域水资源承载力需求和区域污水处理实际确定城市再生水利用目标;(3)根据城市再生水利用目标进行再生水的生产、传输、利用、管理的规划及实施;(4)所有外部调水均应纳入水资源体系进行承载力核算;(5)城市再生水的利用可以服务于不同的水资源利用目标,包括不承载条件下、承载条件下和可持续利用条件下;(6)城市再生水的用户配置要体现水质、水量需求的稳定性,体现时间、空间上的关联性,力求配置合理、经济、可持续。

4 德阳市再生水利用实例研究

4.1 研究区概况

德阳市位于成都平原东北部,人均水资源量不足 $849 \text{ m}^3/\text{人}$,为四川省人均水资源量 $2\,923 \text{ m}^3/\text{人}$ 的 29.0%,属于缺水城市。同时,德阳市又是四川省唯一依靠抽取地下水解决工业和居民用水的重工业城市,由于地下水超采,目前城区范围已出现 2 个主要开采降落漏斗。近年来,德阳市水资源外部依赖性较

大,从都江堰引水需求逐年增加。随着工业化和城市化进程的推进,德阳市经济社会发展与水资源供应之间的矛盾日益突出。

4.2 总体研究思路

基于德阳市城区未来一定时间内,水资源供给与需求预测的平衡,确定不同时期水资源承载力的需求;基于水资源承载力需求和城市水资源利用目标,结合城市可利用的污水量,确定城市再生水利用目标(水质目标、水量目标);依据城市再生水利用目标,进行再生水利用的详细规划和配套建设,以推动城市再生水利用的持续发展。

4.3 基于水资源承载力的德阳市城市再生水利用

4.3.1 水量承载力需求 依据德阳市节水型社会建设进程,确定城市单位人口综合用水量指标、用水普及率,依据德阳市“十二五”规划和德阳市城市发展规划,确定其 2012、2015 和 2020 年的城市人口分别为 65、76 和 90 万人^[12]。根据上述德阳市城市单位人口综合用水量指标及用水普及率,对该市需水量进行预测(表 1)。

表 1 德阳市城市需水量预测

年份	规划人口/万人	单位人口综合用水量 ($\text{L}/(\text{人} \cdot \text{d})$)	用水普及率/%	预测用水量/ ($10^5 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)
2012 年	65	400	98	26.0
2015 年	76	400	99	30.4
2020 年	95	450	100	42.8

4.3.2 水质承载力需求 德阳市目前仅有一座污水厂建成运行。目前,正新建绵远河污水厂($10^5 \text{ m}^3/\text{d}$)、石亭江城市生活污水处理厂($5.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$)、天元污水处理厂($10^5 \text{ m}^3/\text{d}$) 3 个污水厂在二期实现 1/2 的处理能力,在二期年实现全部 $2.5 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{d}$ 的处理能力。依据节水型社会建设目标,德阳市污水处理率在 2015 年将超过 80%,2020 年超过 90%,在满足水量承载力的前提下,德阳市城市水质承载力完全可以满足要求^[13]。

4.3.3 城市再生水利用目标 依据震后德阳市水利规划,德阳市城市目前的供水能力约 $2.0 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{d}$ 。为了实现区域水资源的可持续利用,在推进节水型社会建设、实施外部调水、加强污水处理实现达标排放的情况下,德阳市 2015 和 2020 年面临的水资源缺口分别为 $8.4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 和 $1.8 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{d}$ ^[13]。

4.3.4 城市再生水利用方案 根据城市污水处理量,在满足城市用水缺口的前提下,适当提升再生水的生产量,用于改善地表水体和景观水体,确保下游

农业灌溉使用,确定 2015 和 2020 年再生水的利用目标为 $1.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 、 $2.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。依据德阳市的污水处理厂运行、规划的实际和污水处理分区,结合

德阳市产业结构布局 and 确保水环境质量要求,采取集中利用与分散利用相结合的原则,确定德阳市城市再生水的利用方案(表 2)^[14]。

表 2 德阳市城市再生水利用方案

10⁴ m³/d

年份	预测需水量	预测供水量	城市用水缺口	再生水产生量	再生水来源	主要用途	再生水输送管道规划/km
2015 年	30.4	22	8.4	10	绵远河,石亭江,天元生活污水处理厂(一期)。	景观环境用水,工业用水,市政杂用水。	2
2020 年	42.8	25	17.8	20	绵远河,石亭江,天元生活污水处理厂。	景观环境用水,工业用水,市政杂用水。	39

4.3.5 方案实施的效益 城市再生水利用方案实施后,2015 和 2020 年年均可提供再生水量分别达到 $4.3 \times 10^7 \text{ m}^3$ 和 $8.7 \times 10^7 \text{ m}^3$,年均再生水回用量分别达到 $4.30 \times 10^6 \text{ m}^3$ 和 $1.31 \times 10^7 \text{ m}^3$,按现行生活供水水价 1.4 元/ m^3 计算,各实施水平年年节约水费分别为 602 和 1 827 万元;按现状 67% 污水排放率计算,可减少污水排放量 $2.8 \times 10^7 \text{ m}^3$ 和 $5.7 \times 10^7 \text{ m}^3$;污水处理费用按 0.6 元/ m^3 计算,各水平年年节约污水处理费用分别为 1 700 和 3 400 万元。在增加有效水资源供应量的同时,减少了污水的排放量,降低了资源环境的承载需求,有利于促进可持续的水资源利用,对缓解德阳市水资源供需紧张,降低外部调水的依赖性和实现地下水保护具有积极的意义。

5 结论

基于水资源承载力和区域实际的再生水利用研究,以区域水资源的可持续利用为基础,从水资源承载需求的角度确定再生水的利用目标,实现了目标制定的前瞻性和科学性,把城市再生水真正融入到城市水资源体系之中;依据再生水利用目标和区域污水处理实际进行反向的措施分解和落实,实现了项目的具体化和实施的针对性,有利于充分发挥再生水利用设施和污水回用的效益,避免了目前再生水利用中产能不足、产能过剩、生产和利用不协调等问题,为资源型、水质型缺水城市再生水利用提供了参考,也为目前再生水利用中的问题提供了解决方案。

水资源的承载力分析是再生水利用目标确立的基础,承载力分析可用方法较多,涉及到的特征因素较广泛,呈现的承载力结果具有一定的差异性,如何更加合理地确定区域水资源的承载能力是今后需要进一步深入的课题。

[参 考 文 献]

- [1] 吴迪,赵勇. 我国再生水利用管理的建议[J]. 水利水电技术,2010,41(10):10-14.
- [2] 赵继成. 北京市再生水利用研究[D]. 北京:北京工业大学,2007.
- [3] 吴建国. 包头市再生水利用规划研究[D]. 陕西:西安建筑科技大学,2007.
- [4] 雷阵. 贵阳市城市水环境规划与污水资源化研究[D]. 天津:天津大学,2006.
- [5] 刘培斌. 北京市再生水开发利用问题与对策[J]. 中国水利,2007(6):37-39.
- [6] 沈光范,徐强. 积极稳妥地开展中水回用工作[J]. 中国给水排水,2001,17(4):31-32.
- [7] 雷乐成,杨岳平,汪大翠. 污水回用新技术及工程设计[M]. 北京:化学工业出版社,2002:27-30.
- [8] McPherson J B. Land treatment of wastewater at Werribee: Past, present and future [J]. Prog. Water Technol., 1978,11(1):15-31.
- [9] Kayaalp N M. Regulatory framework in South Australia and reclaimed water reuse options and possibilities [J]. Desalination, 1996,106(1/3):317-322.
- [10] Ganoulis J, Papalopoulou A. Risk analysis of wastewater reclamation and reuse [J]. Wat. Sci. & Tec., 1996,33(10/11):297-302.
- [11] 赵建世,王忠静. 双要素水资源承载能力计算模型及其应用[J]. 水利发电学报,2009,28(3):176-180.
- [12] 德阳市城市总体规划(2008—2020年)[R]. 德阳市城建局,2008.
- [13] 汶川地震后德阳市节水型社会建设实施方案研究报告[R]. 德阳市水利局,四川大学,2009.
- [14] 德阳市城市再生水利用实施方案与实践[R]. 德阳市水务局,四川大学,2010.