DOI:10.3969/j.issn.1004-6933.2014.05.016

澳门污水资源再生利用

张 云[1,2,3],崔树彬[3],汪义杰[3],陈晓宏[1,2]

(1.中山大学水资源与环境研究中心,广东 广州 510275;
2.华南地区水循环和水安全广东普通高校重点实验室(中山大学),广东 广州 510275;
3.珠江水利科学研究院,广东 广州 510611)

摘要:介绍澳门水资源基本情况,分析澳门污水资源再生利用在节水、减污、降低供水成本、提高区域水资源安全等方面的价值,剖析污水资源再生利用在认识、土地、政策、管理、经验积累等方面的不利条件和政府积极推动、公众意识、新区建设等方面的有利因素,探讨澳门污水资源再生利用的用途、方式、处理工艺及水质标准、管理、价格、风险、规模等关键问题,提出澳门污水资源再生利用近期、中期和远期利用方案。

关键词:水资源;污水资源;再生利用;节水减污;澳门

中图分类号:X703.1;TU99 **文献标志码**:A **文章编号**:1004-6933(2014)05-0086-05

Sewage resources recycling and reuse in Macao

ZHANG Yun[1,2,3], **CUI Shubin**[3], **WANG YiJie**[3], **CHEN Xiaohong**[1,2]

(1. *Center of Water Resources and Environment Research*, *Sun Yat-Sen University*, *Guangzhou* 510275, *China*;
2. *Key Laboratory of Water Cycle and Water Security in Southern China of Guangdong High Education Institute*, *Sun Yat-Sen University*, *Guangzhou* 510275, *China*;
3. *Scientific Research Institute*, *Pearl River Water Resources Commission*, *Guangzhou* 510611, *China*)

Abstract: In this paper, we introduce the status of water resources in Macao, analyze the significance of sewage resources recycling, such as water conservation, pollution control, water supply cost reduction, and improvement of water security, and discuss the disadvantages in water resources recycling and reuse, lands, policy, management, and the accumulation of experience, as well as the advantages in active promotion by the government, public awareness, and new urban district construction. We point out the key problems of sewage resources recycling and reuse in Macao, which include the reuse purposes, methods, processing technologies and water quality standards, management, price, risk, and scale. We also propose short-term, medium-term, and long-term schemes for sewage resources recycling and reuse in Macao.

Key words: water resources; sewage resources; recycling and reuse; water conservation and pollution control; Macao

水滋养了人类,但人类又面临水带来的生存安全危机[1]。伴随着全球气候变化及区域社会经济快速发展,地处传统丰水区的我国南方地区开始频繁出现季节性、水质型缺水问题[2]。特别是近些年

基金项目:国家自然科学基金国际重大合作和重点项目(51210013, 50839005);国家科技支撑计划(2012BAC21B0103);水利部公益性行业科研专项(201201094, 201301002-02);广东省科技厅项目(2010B050300010);广东省水利科技创新项目(2011-11, 2009-39);中英瑞气候变化适应项目(ACCC/20100705-1)

作者简介:张云(1981—),男,高级工程师,博士研究生,主要从事区域水资源及水环境方面的研究。E-mail:iamyun@163.com

来,珠江河口地区咸潮上溯严重,同时随着人口增长和经济的快速发展,澳门水资源供给日趋紧张,正面临着严峻的水资源形势,水资源问题逐步成为制约澳门特区经济社会可持续发展的关键因素之一。

城市污水资源长期以来扮演着城市沉重负担的角色。在区域水资源供需矛盾加剧,城市新的供水水源开发距离越来越远、经济成本越来越高、风险越来越大的情况下,同时在国家坚持科学发展观,实行最严格的水资源管理制度,走资源节约型、环境友好型社会大形势下,污水资源的真正价值和效益正逐步开始被人们所接受和重视,将成为缓解水体污染加剧趋势和破解南方地区季节性缺水危机的突破点和切入点[2]。公元前 3 500 年左右,希腊克里特文明时期已开始将污水资源用于灌溉农田;1932 年,美国旧金山建设第一座专用于回收利用污水的回收厂;1968 年,纳米比亚建设了第一座利用污水资源的饮用水厂;如今,在全球水资源短缺地区已建有大量的污水资源再生利用水厂,在纳米比亚、新加坡、南非、美国等国均建有直接或间接用于饮用水的污水资源再生处理厂[3-4]。在中国北方地区的北京、天津、西安、青岛、大连等地已对污水资源再生利用开展了长期较为深入的研究工作,并建有大量的实际利用工程,在南方地区用水强度较高的城市,如深圳、昆明等对污水资源再生利用也开展了相关的研究工作、工程实践,或出台了大量鼓励城市污水资源再生利用的政策[5-9]。但由于各个城市自然地理、经济社会、区域位置、水资源禀赋条件、污水处理厂及收集管网建设程度等方面的差异,每座城市污水资源再生利用的用途、方式、处理工艺及水质标准等都不尽相同,迫切需要开展有针对性的研究,从技术、经济和管理多方面着手,充分提高污水资源利用的可行性,真正“变废为宝”,应对变化环境下的城市水资源配置问题和水环境污染综合整治问题。

笔者针对澳门特区污水资源再生利用的外部环境和内部实际情况,开展了如下方面研究工作:①澳门污水资源再生利用的必要性和意义;②澳门污水资源再生利用的不利条件和有利因素;③澳门污水资源再生利用关键问题;④澳门污水资源再生利用的总体方案等。

1 研究区概况

澳门是我国两个特别行政区之一,位于中国大陆东南部沿海,珠江三角洲出口,毗邻广东省珠海市,由澳门半岛、氹仔岛、路环岛和路氹填海区组成。澳门是微型海岛经济,外向度高,经济规模不大,但具有开放和灵活的特点,是中国两个国际贸易自由港之一,与国际经济联系密切。2010 年,澳门特区总面积为 29.9 km^2,总人口 55.2 万人,人口密度 1.8 万人/km^2,人均本地生产总值 39.8 万澳门元,入境旅客 2 496.5 万人次,人均综合用水量 0.39 m^3/d[10]。澳门位于北回归线以南,地处南海之滨,属亚热带季风气候区,海洋对本地气候的调节作用十分明显。年平均气温 22.4℃,极端最低气温 1.5℃,极端最高气温 38.5℃。多年平均降雨量 1 903 mm,平均年雨日达 130 ~ 150 d。澳门主要库塘有大水塘、石排湾、九澳、黑沙等,现有总库容 294 万 m^3。多年平均地表水资源量 3 300 万 m^3,拦蓄雨水和地表径流的能力较差,多直接汇流入海;地下淡水年可利用量为 129.33 万 m^3,由于地面硬化、建筑占地、海水倒灌和水质污染等影响,实际可开采的数量十分有限。澳门城市供水 97.6% 的水资源主要依赖于珠海对澳的供水工程。

澳门现有自来水厂设计供水能力 33 万 m^3/d,全年自来水实际供水总量为 0.8 亿 m^3,其中商业用水占 38.04%,工业用水占 8.16%,家庭用水占 43.17%,公共用水占 10.63%。到 2020 年,预计澳门需水总量为 38 万 m^3/d,现有自来水处理能力很难满足城市用水需求。澳门已建成污水处理厂 3 座,设计处理能力合计为 23.4 万 m^3/d,收集到的污水量约占澳门污水总排放量的 90%。澳门在(扩)建污水处理厂 2 座,设计处理能力 12.2 万 m^3/d。根据澳门地区需水量预测成果及污水收集水平,预计 2015 年和 2020 年,所有污水处理厂污水收集量可分别达到 20.2 m^3/d 和 26.9 m^3/d。由于澳门商业和家庭用水占城市用水量的 80% 左右,其排水将成为再生水利用的优质水源。

2 澳门污水资源再生利用的价值和意义

澳门人口密度大,经济社会发达,处于高强度开发地区;而该地可利用水资源极为缺乏,储水条件也有限。澳门现有的供水系统也近乎饱和,水源难以满足未来需求,为了支撑澳门经济社会的进一步发展,必须考虑城市发展所需的新的水源。远距离调水随着珠海对澳门原水输送距离的加大,原水供水成本增高,原水管网破裂可能性增加,新的供水风险也在加大;澳门附近水域海水水质条件不尽理想,没有香港附近海域海水利用的先天有利条件;由于储水库容有限,无土地条件建设足够水库库容储水,利用规模有限。相比之下,城市污水资源再生利用理论上可以增加城市可供水量的 50% 以上。与远距离调水、雨水资源利用、海水淡化等可能的新增水源相比,污水资源再生利用由于具有保证率高、成本低

和距离用户区较近等优势,成为澳门缓解水资源供需矛盾和水体污染严重问题等最为有效的途径。因此,从长远来看,城市污水资源再生利用应该成为解决澳门水资源短缺和减轻水体污染的突破点和切入点。

随着最严格水资源管理制度的不断实施,相比于其他措施,污水资源利用的开源、节水、提效、减排效益在水资源管理"三条红线"(用水总量控制、用水效率控制和水功能区限制纳污)中的综合价值将得到充分体现。对于澳门而言,污水资源经过深度处理后再生利用,现阶段与开发建设新的自来水水源同样重要,更符合澳门贫水的客观事实和当前环保型、节约型社会发展理念,具有深远与现实的意义。

a. 缓解澳门本地水资源短缺的需要。城市污水资源经过深度处理后利用,可大量减少城市新鲜水消耗量,缓解澳门季节性水资源短缺危机。

b. 城市污水经过再生及综合利用,自然减少了向澳门周边水域的排污量,带来了客观的环境效益,并且这种环境效益与长期经济效益是统一的,符合特区政府长期践行的环保理念。

c. 以污水处理厂尾水为原水的再生水厂形成规模经营时,其制水成本低于甚至远低于以远距离调配的自然水为原水的自来水厂。

d. 随着咸潮加剧、需水量增加,澳门大规模扩建远距离引水工程单位水量的投资边际成本在增加,再生水利用的经济效益优势将逐步体现。

e. 充分利用产于本地的污水资源,尽可能降低从西江及珠海长距离调水的水量,对于提高澳门应对水源地水体污染、原水输送管道破裂等突发事件的能力,保障城市供水安全有着重要的战略意义。

污水资源再生利用是开源节流的综合措施,既可增加城市可利用的水资源数量,又可减少对周边海域环境的污染,也有利于提高城市供水安全,在一定程度上降低用户成本,具有明显的社会效益、经济效益和环境效益。污水资源的再生利用是澳门节约用水的现实需要,是应对未来咸潮上溯加剧的有效之举,是澳门长期坚持的环保型城市建设的有效措施,也是澳门经济、社会可持续发展的必然要求。

3 澳门污水资源再生利用的机遇与挑战

3.1 不利条件

澳门污水资源再生利用的不利条件主要有:宣传与认识不足,土地和拆迁限制,缺少政策和法律、法规支持等问题。具体包括:

a. 对再生水的认识问题。地处传统丰水区域,对再生水利用的现实意义认识不够深入,公众对再生水利用的认知较为缺乏,担心可能带来的潜在风险,接受水平有待提高。

b. 土地问题。澳门土地资源极为匮乏,新建处理厂征地困难;老城区各种管网复杂,交通紧张,几乎没有铺设新的供水管网的可能性,在一定程度上限制了污水资源在现有老城区利用的范围。

c. 政策和法律、法规问题。目前缺乏鼓励污水资源再生利用的政策,没有配套的法律法规体系,缺乏系统的、有计划的再生水利用策略,在现有政策环境下靠用户自愿,若完全依靠商业运行,建设相关设施的风险比较大,很难形成规模。

d. 示范工程。澳门现有少量污水资源再生利用设施,但规模普遍较小,缺乏对大规模污水资源再生利用的技术研究和实际经验。

e. 管理和运行。污水资源的广泛应用需要专业化的管理和较低的运行成本,迫切需要一个技术和市场培育的过程。现有新鲜水水价相对较低,导致污水资源再生利用经济效益不够明显,水价缺乏市场竞争力。

f. 新鲜水使用权问题。担心使用再生水后使得分配新鲜水的使用权(量)减少。

3.2 发展机遇

澳门特区政府对环境友好型社会和节水型社会建设的重视,以及澳门水资源供需矛盾加剧和新的填海区的实施为澳门污水资源再生利用提供了良好的发展机遇。具体表现在:

a. 近年来随着珠江河口咸潮上溯加剧,澳门增加新水源的边际成本在加大,澳门特区政府对于水资源问题越来越重视,正全力推动澳门节水型社会建设,已将污水资源再生利用作为节水型社会建设的重要措施之一。

b. 澳门公众的环保意识和危机意识非常强。通过充分宣传,公众逐步认识到水资源短缺和水污染所带来的危害,开始关注再生水、海水、雨水等非传统水源的利用问题。

c. 路氹填海区正处于大规模建设期,为区域再生水厂建设和双管网建设提供了比较好的机遇;根据国家相关批复,未来在氹仔北部及澳门半岛东北部和南部有约 5km^2 规划填海区,可以提前将污水资源再生利用纳入该地区的总体规划之中,处理设施及管网与新城区同步建设,将大规模降低后续改造和运行成本。

d. 澳门污水收集处理率较高,污水资源非常集中,城市化程度高,用户也高度集中,为区域污水资源集中利用系统的建设提供了较好的条件。以污水处理厂尾水作为再生水厂原水,水源稳定,处理成本

较低,供水管网距离短,有利于降低供水成本。

e. 澳门越来越重视城市长期发展规划,正在开展《澳门城市概念性规划纲要》,为将污水资源再生利用规划纳入城市发展总体规划提供了良好的机遇。

4 澳门污水资源再生利用的关键问题探讨

污水资源再生利用是一项系统工程,涉及技术、经济、社会、法律、管理等方面的诸多问题。

a. 关于用途。根据澳门城市现有用水结构和再生水可能潜在用途,污水资源经过处理后主要用于再生水管网可到达地区的市政、商业、政府、工业、生活等用水中非饮用和直接接触类的低质用水。

b. 关于利用方式。考虑污水资源再生利用经济方面的可行性,特别是技术、管理方面的要求,现阶段的主要利用方式以集中型利用为主(以现有污水处理厂二级出水为水源建设再生水厂),分散型利用(小区利用系统,如大商业楼、有一定规模的居民小区)为辅。为了解决处理设施占地问题,应与污水处理厂现有处理设施有机结合,节约用地。

c. 关于处理工艺及水质标准。根据澳门污水处理厂现有出水水质状况,降低水质风险,污水资源再生利用处理工艺建议为:前处理+膜分离过滤+后处理工艺。工艺的选择应充分考虑占地的问题。根据不同目标用户的不同用途,确定合适的水质标准。在早期经验积累阶段应从降低使用风险角度从严确定水质标准,后期再考虑经济性角度,经过严格论证后确定最为合适的水质标准。

d. 关于管理。澳门现有自来水供应和污水处理分别为专业的专营公司运行,在澳门本地积累了丰富的相近领域管理经验,建议特区政府委托其开展或参与污水资源再生利用工作的运营管理,提高效率,降低风险。

e. 关于价格。澳门近年新实行的阶梯水价在一定程度上为再生水的利用提供了一定的市场空间,但在污水资源再生利用初期,政府应给予适当的投入建设示范工程,直接给予企业适当的补贴或者补贴再生水水价,在本地实际应用积累足够的经验,以尽快提高污水资源再生利用的市场竞争能力。

f. 关于风险。污水资源再生利用风险可分为技术、经济和管理等方面的风险,应充分借鉴国内外已有的研究和实践成果,采用成熟的技术、建立全面的技术和管理规范制度、聘用专业的管理团队来降低或消除污水资源再生利用的潜在风险。

g. 关于规模。近期应以条件最为成熟地区或新建城区建设示范工程为主,建设规模不宜盲目求大,待示范工程稳定运行后,总结经验教训,再进一步大规模推广应用。

5 澳门污水资源再生利用的方案研究

a. 近期利用方案。利用澳门跨境工业区污水处理站尾水用于城市绿化、道路清洗等;结合澳门实际,选取典型用户,分不同层次(区域性水循环建筑、建筑小区、单幢建筑、家庭用户)开展深入的污水资源再生利用相关研究工作(处理工艺、管网布置、运行管理方案等);加强污水资源再生利用的宣传工作,出台鼓励污水资源再生利用的相关政策,并将污水资源再生利用纳入城市总体发展规划;制定污水资源再生利用相关的技术、管理等规范标准及再生水参考价格,成立污水资源再生利用管理机构(或授权自来水或污水处理厂经营),着手建立再生水利用管理、监督体系;污水资源再生利用规模达到0.5 万 m^3/d。

b. 中期利用方案。在前期研究工作基础上,政府投入资金,启动污水处理厂(站)的再生水利用一期工程,在污水处理厂(澳门半岛污水处理厂、澳门跨境工业区污水处理站、氹仔污水处理厂、路环污水处理厂)建立污水资源再生利用处理设备,铺设再生水供水主干管网;出台污水资源再生利用强制性的法规,在达到一定面积新建城区、赌场、居民小区等建立污水资源再生利用管网系统;污水资源再生利用规模达到 1.2 万 m^3/d。

c. 远期利用方案。启动污水处理厂(站)的再生水利用二期工程,铺设再生水供水主干管网,扩大污水资源再生利用范围,提高污水资源再生利用率;在新建城区、新建赌场宾馆、新建生活小区等建设完善的污水资源再生利用系统,用于商业杂用、生活杂水、市政杂用、工业回用等;建立完善的污水资源再生利用管理、监督等法律法规和政策体系;污水资源再生利用规模达到 4.6 万 m^3/d。

6 结 语

水环境恶化问题和水资源短缺问题已经成为我国澳门地区制约经济社会发展的关键因素之一。污水资源的有效和合理利用,充分利用城市污水资源相对集中的有利条件,无疑将成为未来该地区解决水问题的突破点和切入点。有别于水资源数量缺乏的北方干旱区,不仅要认识到污水资源再生利用在“节水”和“开源”方面的价值,还应认识到污水资源再生利用在“减污”方面的价值,避免走“多用多排”的老路,更应认识污水资源再生利用在提高区域水资源安全方面的战略价值和意义。

参考文献：

[1] 左其亭,张云. 人水和谐量化研究方法及应用[M]. 北京:中国水利水电出版社,2009:1-5.

[2] 张云,崔树彬,胡惠方,等. 南方地区再生水利用可行性及关键问题探讨[J]. 南水北调与水利科技,2011,9(1):122-125. (ZHANG Yun, CUI Shubin, HU Huifang, et al. Discussion on the feasibility and key problems of recycled water utilization in southern China[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science and Technology, 2011, 9(1): 122-125. (in Chinese))

[3] BIXIO D, THOEYE C, WINTGENS T, et al. Water reclamation and reuse: implementation and management issues[J]. Desalination, 2008, 218(1): 13-23.

[4] 赵乐军. 城市污水再生利用规划设计[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2011:2-20.

[5] YI Lili, JIAO Wentao, CHEN Xiaoning, et al. An overview of reclaimed water reuse in China[J]. Journal of Environmental Sciences, 2011, 23(10): 1585-1593.

[6] 林功波. 昆明空港经济区再生水利用系统专项规划[J]. 中国给水排水,2013,29(2):87-90. (LIN Gongbo. Specific planning of reclaimed water reuse system in airport economic zone of Kunming City[J]. China Water and Wastewater, 2013, 29(2): 87-90. (in Chinese))

[7] 代志远,高宝珠. 再生水灌溉研究进展[J]. 水资源保护,2014,30(1):8-13. (DAI Zhiyuan, GAO Baozhu. Research advances in reclaimed water irrigation[J]. Water Resources Protection, 2014, 30(1): 8-13. (in Chinese))

[8] 吴丹,王亚华. 区域再生水水权分配制度探讨[J]. 水利水电科技进展,2013,33(3):34-38. (WU Dan, WANG Yahua. Discussion of water rights allocation of regional reclaimed water[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2013, 33(3): 34-38. (in Chinese))

[9] 王力玉,秦华鹏,王波,等. 再生水回用于社区景观水体的富营养化风险与成本分析[J]. 水资源保护,2012,28(6):93-96. (WANG Liyu, QIN Huapeng, WANG Bo, et al. Eutrophication risk and cost analysis of reusing reclaimed water for community landscape water body[J]. Water Resources Protection, 2012, 28(6): 93-96. (in Chinese))

[10] 澳门特别行政区政府. 澳门概况[EB/OL]. [2013-12-10]. http://portal.gov.mo/web/guest/citizen.

(收稿日期:2014-01-20　编辑:徐　娟)

(上接第 85 页)

[4] 孙可可,陈进. 基于武汉市水资源“三条红线”管理的评价指标量化方法探讨[J]. 长江科学院院报,2011,28(12):5-9. (SUN Keke, CHEN Jin. Evaluation index quantification for “Three Red Lines” of water resources management in Wuhan[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2011, 28(12): 5-9. (in Chinese))

[5] 杨丹,张昊,管西柯,等. 区域最严格水资源管理“三条红线”评价指标体系的构建[J]. 水电能源科学,2013,31(12):182-185. (YANG Dan, ZHANG Hao, GUAN Xike, et al. Establishment of evaluation indicator system of “Three Red Lines” for the most strict regional water resources management[J]. Water Resources and Power, 2013, 31(12): 182-185. (in Chinese))

[6] 欧建锋,叶健,程吉林. 主成分分析法在江苏水利现代化评价中的应用[J]. 人民长江,2010,41(2):97-99. (OU Jianfeng, YE Jian, CHENG Jilin. Application of main component analysis method in comprehensive evaluation for water conservancy modernization in Jiangsu Province[J]. Yangtze River, 2010, 41(2): 97-99. (in Chinese))

[7] 白慧强. 主成分分析法在 SPSS 中的应用:以文峪河河岸带林下草本群落为例[J]. 科技情报开发与经济,2009,19(9):172-176. (BAI Huiqiang. The application of principle components analysis in SPSS: taking the herbage community under forest in the riparian zone of Wenyuhe River as the example[J]. SCI-Tech Information Development & Economy, 2009, 19(9): 172-176. (in Chinese))

(收稿日期:2014-05-15　编辑:彭桃英)

