

深圳河湾水系生态需水的污水资源化

胡嘉东^{1 2}, 秦华鹏^{3 4}

(1. 河海大学水文水资源学院, 江苏 南京 210098; 2. 深圳市水务局, 广东 深圳 518053; 3. 北京大学深圳研究生院城市人居环境科学与技术重点实验室, 广东 深圳 518055; 4. 深圳环境模拟与污染控制重点实验室, 广东 深圳 518057)

摘要 :以深圳河湾水系为例,探讨以污水资源化再生水满足城市水系生态需水的方法。该方法统一考虑河流的水量水质需求,计算不同截污率和补水水质条件下河流的生态需水量,根据生态用水的供需平衡情况,确定污水资源化规模与水质要求。在此基础上,设计污水资源化的处理工艺以及再生水厂等的分布,并通过数学模型预测补水方案对水环境改善的效果。本研究为面向城市水系生态补水的污水资源化工程规划提供了科学的方法。

关键词 :污水资源化;生态需水;深圳市;河湾水系

中图分类号 :X522;X703 **文献标识码** :A **文章编号** :1004-693X(2008)03-0020-04

Wastewater recycling for ecological water demand of Shenzhen River-Bay system

HU Jia-dong^{1,2}, QIN Hua-peng^{3,4}

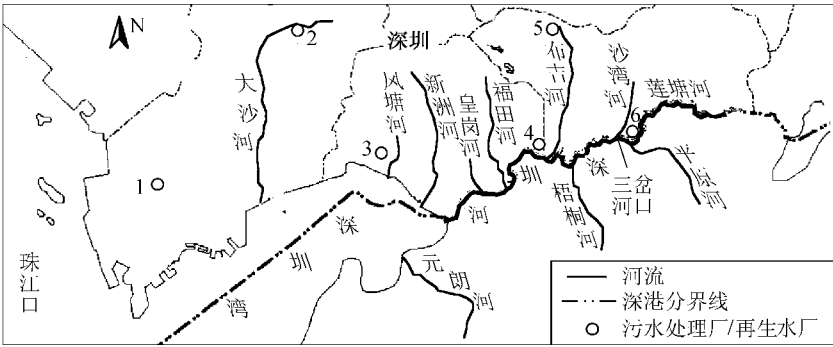
(1. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Shenzhen Municipal Water Affairs Bureau, Shenzhen 518053, China; 3. The key Laboratory for Environmental and Urban Sciences, Shenzhen Graduate School, Peking University, Shenzhen 518055, China; 4. Shenzhen Key Laboratory of Environmental Simulation and Pollution Control, Shenzhen 518057, China)

Abstract :For the case of the Shenzhen River-Bay system, a wastewater recycling method that satisfies urban ecological water demand was proposed. Taking the water quantity and water quality into consideration, the method can be used to calculate ecological water demand under different sewage interception rates and with replenishing water of different qualities. The treatment scale and water quality target of reclaimed water are determined according to the supply and demand of ecological water. The treatment technology and the distribution of treatment plants are designed. Furthermore, a mathematical model is applied to predicting the effect of water replenishing schemes on water environment improvement. This research provides a scientific method for planning wastewater recycling to replenish ecological water in urban river systems.

Key words :wastewater recycling; ecological water demand; Shenzhen; River-Bay system

由于过量抽水或污染,我国一些城市水系出现了资源型或水质型缺水,其生态环境受到严重损害。生态补水是城市水环境修复的重要措施,它通过向城市水系补充清洁水,一方面可以提供维持水系生态系统健康所需的水量,另一方面可以增加水系的纳污能力,改善水质^[1]。生态补水的主要来源有雨水利用、境外引水、污水资源化等^[2]。其中,污水资源化具有开源节流、减轻水体污染、解决城市缺水等

多种功能,同时为城市水系生态补水提供了充足的水源^[2]。目前国内外学者对资源化污水在工农业生产和市政建设中的回用讨论较多,而对面向城市河流水系生态补水的污水资源化方案研究较少。因此,本研究以深圳河湾水系为例,统一考虑河流的水量水质需求,计算河流生态环境需水量,结合污水资源化的技术水平,提出水系的生态补水方案并预测其改善水环境的效果,为污水资源化在水系水环境



1~6 分别对应南山、西丽、福田、滨河、草埔、罗芳污水处理厂/再生水厂

图 1 深圳河湾水系

修复中合理应用提供科学依据。

1 研究区域概况

深圳河湾水系地处珠江口内伶仃洋以东,大鹏湾以西,北部为深圳经济特区,南部为香港新界地区。水系由深圳河、深圳湾及其支流组成。深圳河流域面积 313 km²,干流全长约 37 km,主要支流有莲塘河、平原河、沙湾河、梧桐河、布吉河、福田河、皇岗河,其中平原河、梧桐河在香港境内(图 1)。深圳湾是一个半封闭型海湾,为深圳市的南山区、福田区和香港新界所环绕。注入深圳湾的河流除了深圳河外,还有深圳一侧的大沙河、凤塘河、新洲河,香港一侧的元朗河及一些小支流和人工渠道。水系诸河流受南海不规则半日混合潮的影响,为典型感潮河流。

深圳河湾水系河流属雨源型河流,旱季天然径流几乎为 0,环境容量小。据统计,2003 年深圳市的污水处理率为 57%,约有 50 万 m³/d 污水直接排入该水系。目前,水系污染严重,河道水体发黑发臭,水生态系统功能退化。根据深圳市污水系统布局规划^[3],2010 年深圳市的污水总量将上升到 209.5 万 m³/d。在这一污水规模下,即使通过截污和污水处理率达到 95%,枯水期水系仍然很难达到 GB3838—2002《地表水环境质量标准》Ⅴ类水质标准限值。因此,为改善水系生态环境,在大力截污的同时,还应采取生态补水措施以增加河道的环境容量。

水系生态补水的潜在措施主要有:城市供水水源利用、雨洪综合利用、污水资源化等。深圳市是水资源稀缺的城市,近期(2010 年)和远期(2020 年)城市供需水平衡分析表明,城市供水水源没有盈余水量作为水系生态补水;水系可以通过未参与城市供水的水库利用、小型蓄水工程修建与利用、坡面集水利用、蓄滞洪区利用、增加水库汛期的蓄水能力等方式储存约 874 万 m³/a 雨水量,用于河道生态补水,但这些雨水量远不能满足水系生态环境需水量。水系内目前有滨河与罗芳两座污水处理厂,规划建设草

埔、福田、西丽、南山等污水处理厂,到 2010 年、2020 年水系内污水处理规模将分别达到 213 万 m³/d、229 万 m³/d^[3]。这些污水处理厂污水的资源化可为生态补水提供充足水源。

2 生态需水量计算

生态需水量是特定区域内生态系统需水量的总称^[4],包括生物体自身的需水量和生物体赖以生存的环境需水量。由于深圳河湾水系缺乏长期的水文、水生物观测资料,而且多数河道都已渠道化,河道内也没有敏感的水生生物,因此选用 Montana 法等计算河道最小生态流量^[5-6];从河道水平衡角度看,生态需水量应包括水体蒸发量和渗透量。这部分生态需水计算过程可参考文献[2],结果见表 1。

表 1 生态需水量计算 万 m³·a⁻¹

计算内容	计算方法	计算结果
河流最小生态需水量	Montana 法	17 301
水面蒸发需水量	理论公式法	674
河道渗漏需水量	经验公式法	125

为保证河流水体对污染物有足够的稀释自净功能,生态需水量还包括河流水污染防治需水量(又称环境需水量)。环境需水量可定义为在一定的污染负荷水平下,河流水质达到环境功能要求和相应的水质标准所需的最小流量。本研究采用模型试算法进行水系环境需水量的计算:即利用率定好的水质模型,在一定污染负荷和水文条件下,逐步增加(或减少)环境补水量,使河段控制断面的浓度计算值达到规定的水质标准,对应的补水量即为该河段的环境需水量。本研究采用一维非恒定水质模型来描述水系中污染物迁移转化。环境需水量的计算方法、深圳河湾水系水质模型的建立与验证的详细过程可参考文献[1-2]。

在环境需水量计算时需考虑水质目标、控制指标、污染负荷、补水水质、补水位置、水文条件等因素的影响^[1]。①水系水体功能定位为一般景观要求水

域 ,水质目标为达到地表水Ⅴ类标准 ,水系污染负荷主要来源于生活污水 ,BOD₅ 是主要指标之一 ,而且该水系目前最急迫需要解决的问题是河道水体黑臭 ,近期河道水质改善以消除黑臭为目标 ,BOD₅ 与黑臭关系较大 ,因此本研究以 BOD₅ 为主要控制指标。②深圳市正计划实施沿河截污工程 ,提高污水处理率。在 2010 年的污水总量水平下 ,如果污水处理率达到 85%、90% 和 95% ,进入研究区域河道、未经处理的污水分别为 21.9 万 m³/d、14.6 万 m³/d、7.4 万 m³/d。③以污水资源化再生水为补水源 ,再生水水质与所采用的污水处理工艺有关 ,一般污水资源化工程的再生水水质应该达到 GB18918—2002《城镇污水处理厂污染物排放标准》中的一级 A 标准。但是考虑到河湾流域的污染负荷大、而旱季河道内的天然径流基本为 0 ,资源化再生水不仅要能用来补充河道旱季水量 ,而且还需起到增加河道纳污容量的作用。因此 ,用于深圳河湾水系补水的再生水水质应该优于一级 A 标准。本研究假设再生水中 BOD₅ 的质量浓度为 4 mg/L。④假设补水位置位于河道上游 ,这样可以充分利用补水的环境容量。⑤河道基流以枯水年(90% 保证率)枯水期的平均径流估计 ,潮流边界条件为大潮。此外 ,在计算需水量时 ,首先计算支流的需水量 ,然后在满足支流环境需水要求的前提下 ,再计算深圳河干流的需水量。

应用深圳河湾水系水质模型计算 2010 年不同污水处理率下水系主要河流达到地表水Ⅴ类标准的环境补水量(表 2)。结果表明 ,在 2010 年的污染负荷水平下 ,随着污水处理率的提高 ,环境需水量显著减少。

表 2 不同处理率下的水系环境需水量

处理率 / %	需水量/(万 m ³ ·d ⁻¹)					
	大沙河	新洲河	福田河	布吉河	深圳河	合 计
85	80	65	40	142	60	387
90	47	36	20	83	39	225
95	25	19	12	45	20	121

环境需水与其他需水具有相当程度的重叠 ,在具体计算时可以先分别计算各自的需水量 ,然后取较大者作为生态需水量。针对深圳河湾水系生态需水与环境需水的研究表明 ,水系的环境需水远远大于生态需水 ,因此水系的生态需水量可以根据环境需水量来估算。

3 污水资源化工程及生态补水方案

需要从以下几个方面来考虑基于污水资源化的河流生态补水方案 :①污水资源化工程的规模与水质要求 ;②污水资源化的源水水质 ;③污水资源化的处理工艺 ;④污水资源化再生水厂及管网分布。

污水资源化再生水来源于污水处理厂的污水 ,其规模受到污水处理厂规模(特别是旱季可收集污水量)的限制。2010 年旱季各污水处理厂的污水量预测值如表 3 所示。假设污水在处理输送过程中有 10% 损失 ,2010 年深圳河湾流域的污水处理厂最多可提供 180 万 m³/d 的资源化再生水。再结合表 2 ,考虑再生水的供需平衡 ,要求 2010 年的污水截污率应达到 95% ,补水水质 BOD₅ 质量浓度为 4 mg/L ,补水规模为 121 万 m³/d。

表 3 2010 年旱季各污水处理厂污水量预测值 万 m³·d⁻¹

污水处理厂	污水量	污水处理厂	污水量
南山	63.7	草埔	20.0
西丽	10.0	罗芳	31.8
福田	43.6	合计	198.8
滨河	29.7		

流域内污水资源化源水主要有两种 ,一种为已建污水处理厂尾水 ,如滨河和罗芳污水处理厂 ,其尾水均已达到一级 B 标准 ;另一种为尚待建设的污水处理厂如西丽、草埔污水处理厂等 ,其预定目标均为尾水达一级 A 标准。因此污水资源化工程之源水分一级 A 标准与一级 B 标准两类水质。各水质标准见表 4 对于 TP 指标 2005 年 12 月 31 日前、后建设的污水处理厂分别执行括号外、括号内的标准值。

表 4 最高允许排放质量浓度(日均值) mg·L⁻¹

水质指标	BOD ₅	COD	SS	NH ₃ -N	TP
一级 B 标准	20	60	20	15	1.5(1)
一级 A 标准	10	50	10	8	1(0.5)

污水资源化工程主要待去除的污染物为 : BOD₅、SS、COD、TN、TP 及大肠菌群 ,其中要求再生水中 BOD₅ 质量浓度为 4 mg/L。本研究重点讨论去除 BOD₅ 工艺。拟采用生物活性炭(Biological Activited Carbon ,以下简称 BAC)(果核型)工艺实现去除有机污染物目标 ,并针对不同水质的源水(一级 B 标准及一级 A 标准) ,设计不同的前序处理工艺 :对达到一级 A 标准的源水 ,采取直接设置生物活性炭(BAC)工艺 ;对达到一级 B 标准的源水 ,推荐曝气生物滤池(陶粒生物滤池)及滤布滤池两种工艺作为前序处理工艺。其中 ,曝气生物滤池有更强的脱氮功能 ,滤布滤池对除浊有更高效率。依据用地可能性及各工艺的投资及总成本两项主要因素 ,推荐污水资源化工程对于一级 B 标准源水采取工艺 A ,见图 2(a) ;对于一级 A 标准源水采取工艺 B ,见图 2(b)。

再生水管网系统的布设是污水资源化工程的重要步骤。首先 ,必须明确再生水厂及其用户的分布、用户特征、预测的用户需水量、用户距再生水干管的

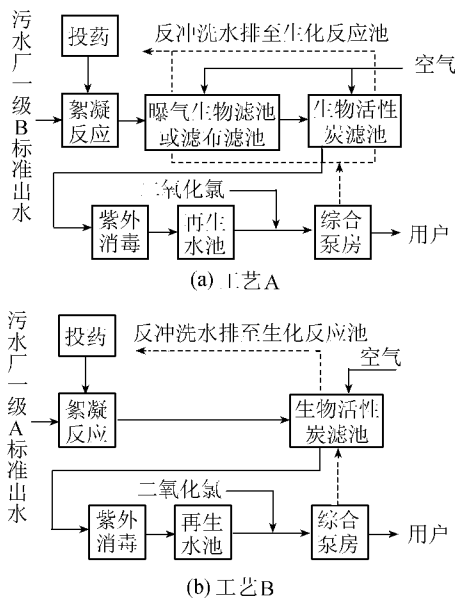


图2 污水资源化流程

距离及地形地势状况,在此基础上划分污水资源化工程供水区域;其次,在供水区域范围内充分考虑污水资源化工程与用户的空间分布特点、周边道路以及市政用地分布状况,确定干管的总体走向及数量;再次,充分结合地上状况以及地下管线状况,最终定出切实可行的污水资源化工程管线走向。表5给出了深圳河湾水系各河道环境需水量及污水资源化工程供水对应情况。

表5 河道补给水量及再生水厂供水情况

河道	生态需水量/ (万 m ³ ·d ⁻¹)	再生水厂	工艺	补水量/ (万 m ³ ·d ⁻¹)
大沙河	25	南山 西丽	A	16
			B	9
新洲河	19	福田	B	19
福田河	12		B	12
布吉河	45	草埔	B	20
		滨河	A	25
深圳河	20	罗芳	A	20

根据深圳河湾水系污水处理厂及河道环境需水分布的特点,本研究共划分了4个污水资源化工程供水区域,每个供水区域内各自以一个污水资源化工程厂为主体,形成4个独立的污水资源化工程供水系统。空间上从西到东,分别是南山、福田、滨河、罗芳再生水厂;另外,深圳特区污水资源化工程中还包括西丽、草埔再生水厂,由于这两个再生水厂主要给临近的河道供水,且距离很近,所以此次不将其单独作为一个区域系统考虑。再生水厂位置与其同名的污水处理厂对应,其布设情况见图1。

4 讨论与结论

利用深度资源化再生水,以 BOD₅ 为控制指标,假设 2010 年截污率达到 95%,按照表 5 设计的补水

方案对各河道进行补水,应用水质模型预测补水后的水质,进行资源化效果分析时,采用枯水年(90%保证率)枯水期的水文条件。2010 年实施截污与生态补水工程后,深圳湾水系各主要河流水质的预测结果如表 6 所示。由表 6 可知,污水资源化与生态补水后,各河流的 BOD₅ 质量浓度有明显降低,可以达到地表水 V 类水质要求。BOD₅ 质量浓度取各河流控制断面处一个潮周期(大潮)的均值。

表6 BOD₅ 质量浓度变化 mg·L⁻¹

河道	2003 年 实测值	2010 年 预测值*	河道	2003 年 实测值	2010 年 预测值*
大沙河	31.5	9.3	布吉河	40.5	9.6
新洲河	52.5	10.0	深圳河	18.5	9.1
福田河	35.0	9.8			

注: * 截污率为 95%、补再生水 120 万 m³/d 条件下的预测值。

综合以上分析,2010 年深圳特区内的污水处理厂最多可提供约 180 万 m³/d 的资源化再生水,若再生水水中 BOD₅ 质量浓度为 4 mg/L,在 85%、90%、95% 处理率下水系生态需水量分别为 387 万 m³/d、225 万 m³/d、121 万 m³/d。因此,若 2010 年污水处理率小于 90%,由于资源化再生水量的限制,无法实现全流域水系达标的目标;若 2010 年污水处理率大于 90%,利用污水资源化再生水 120 万~180 万 m³/d,再结合雨洪综合利用等措施,可以使水系 BOD₅ 达到 V 类地表水标准(降低到 10 mg/L 左右)。

研究表明,本方法可以统一考虑河流的水量水质需求,计算不同截污率和补水水质条件下河流的生态需水量,根据城市可收集的污水量和生态用水的供需平衡,确定污水资源化工程的规模与水质要求;根据污水处理厂出水水质及污水资源化水质目标,设计污水资源化的处理工艺。本研究为污水资源化在水系水环境修复中的合理应用提供了科学依据。

参考文献:

- [1] 秦华鹏,王晟.感潮河流环境需水量预测及敏感性分析:以深圳河为例[J].环境科学学报,2005,25(7):936-941.
- [2] 深圳水污染治理指挥部办公室.深圳河湾水系水质改善策略研究[M].北京:科学出版社,2007.
- [3] 深圳市规划国土资源局,深圳市市政工程设计院.深圳市污水系统布局规划(2002~2020)[R].深圳:深圳市规划国土资源局,2003:35-37.
- [4] 倪晋仁,崔树彬,李天宏,等.论河流生态环境需水[J].水利学报,2000(9):14-19.
- [5] 杨志峰,崔保山,刘静玲,等.生态环境需水量理论、方法与实践[M].北京:科学出版社,2003.
- [6] 崔树彬.关于生态环境需水量若干问题的探讨[J].中国水利,2001(8):71-75.

(收稿日期:2007-11-08 编辑:徐娟)