

深圳河湾水系水质改善引调水工程

刘云华^{1,2}, 董增川¹, 李朝方², 秦华鹏³

(1. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210098; 2. 深圳市水利规划设计院, 广东 深圳 518036; 3. 深圳环境模拟与污染控制重点实验室, 广东 深圳 518057)

摘要 深圳河湾污染现状是当城市污水处理率达到 95% 时, 河道依然存在着黑臭现象。利用统计数据建立了 3 套动态数学模型, 进行不同污水处理率下和不同引调水水源的环境需水量计算, 确定了合理的污水处理率目标。对深圳河湾水系的珠江口引水和大鹏湾引水方案进行研究, 从生态环境角度, 首选方案是珠江口引海水加滨海水库水; 从工程经济角度, 首选方案是大鹏湾引水。

关键词 深圳河; 水质改善; 引调水; 环境需水量; 污水处理率

中图分类号 X703 **文献标识码** A **文章编号** 1004-693X(2008)03-0031-04

Water diversion project for the improvement of water quality in Shenzhen River-Bay system

LIU Yun-hua^{1,2}, DONG Zeng-chuan¹, LI Chao-fang², QIN Hua-peng³

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Shenzhen Water Resources Planning & Design Institute, Shenzhen 518036, China; 3. Shenzhen Key Laboratory of Environmental Simulation and Pollution Control, Shenzhen 518057, China)

Abstract The pollution status in Shenzhen River (Bay) is such that the river is still in black-odor situation when the urban sewage treatment rate reaches 95%. Based on statistical data, three different dynamic mathematical models were established and used to determine the environmental water demand under different sewage treatment rates and water diversion sources. A reasonable sewage treatment rate goal is provided. The water diversion projects from Zhujiang Estuary and Dapeng Bay to Shenzhen River-Bay system were studied. Results show that the projects of water diversion from Zhujiang Estuary and coastal reservoirs are better for the protection of the ecological environment and the water diversion from Dapeng Bay is better for economical purposes.

Key words Shenzhen River; water quality improvement; water diversion; environmental water demand; sewage treatment rate

在中国各大城市中, 香港和深圳的污水处理系统是比较完善的, 然而深圳河作为深港两地的界河, 目前污染却十分严重, 水质为劣 V 类, 在旱季水体发黑发臭。究其原因, 一方面, 深圳特区内约有超过 40% 污水(主要为城市生活污水)未按设计要求进入污水处理系统, 而是通过误接或错接的排水管线直接进入了深圳河水系; 另一方面, 污水处理厂收集的污水, 虽然经过二级处理才排入深圳河, 但处理后的污水水质远差于 V 类地表水环境质量标准, 仍然是

深圳河的污染负荷^[1-2]。深圳河的天然径流远远不足以吸纳如此大量的污染负荷。为改善深圳河湾水系的水质, 必须在截污的前提下对河道进行补水。笔者利用水质数值模型和工程措施对环境需水量、补水可行性和补水方案等方面进行了研究。

1 引水及需水量

1.1 深圳河湾水系概况

深圳河湾水系位于珠江口内伶仃洋以东, 大鹏

湾以西,北接东莞,南邻香港,主要包括深圳河流域、大沙河、新洲河等大小河流,最终汇入深圳湾。流域内水系河流为雨源型河流,流域的地表、地下径流主要来源于降雨。流域多年平均(1953~1997年)降水量为1926.4 mm,年最大降水量2662.9 mm(1975年),年最小降水量912.5 mm(1963年)^[3]。

1.2 补水的必要性

经过调查分析,深圳市2003年的污染总量为120万t/d,直接排入河道51.5万t/d。河道的水环境如此恶劣,首先需要通过截污、治污等基本措施来缓解水环境状况。截污治污后,预计深圳市特区内2010年污水总量为190万t/d,城市污水处理率达到95%,直接排入河道约有9.5万t/d;2020年污水总量为230万t/d,城市污水处理率达到95%,直接排入河道约有11.5万t/d,相当于发达城市水平。其次通过截污,河道的基流也随之大量减少,流域内雨水和基流可提供的环境用水约为11万t/d,可是截污后直排污水仍有10万t/d左右,河道依然会存在黑臭现象。

总而言之,由于水系的环境容量小,即使进行截污、治污后,使污水处理率达到了95%,也无法达到水系既定的水质目标——地表水Ⅴ类水质标准。由于该处理率已是目前世界先进水平,所以为了达到水质目标,必须考虑补水增容措施,使水质进一步得到改善。

1.3 引调水水源水量、水质

可能用于补水的引调水源有:现有供水水源、非供水水源及雨水、珠江口海水、大鹏湾海水等。由于深圳是我国严重缺水城市,现有的供水水源在97%保证率下只能解决全市的生产、生活用水,无法满足景观用水,在近期、中期和远期均没有盈余水量补充城市旱季河道生态环境用水,因此不再做深入分析。其余补水的引调水源水量及水质情况分析见表1。

表1 补水水源

水源	水量/(万t·a ⁻¹)	盐度/%	水质
非供水水源及雨水	725	淡水	地表水Ⅲ类
珠江口海水	无限	0.09~1.88	海水Ⅳ类
大鹏湾海水	无限	3.4~3.5	海水Ⅱ类

根据珠江口实测资料,固戍附近海域洪水期有淡水(0.09%),考虑利用水库储存其淡水,在枯水期咸淡掺和用于补水。对于非供水水源及雨水开发的可用水量,虽其水质条件较好,但总量太少,不足以满足流域补水需求。因此,不做环境需水量分析计算,但从水资源可持续利用的角度,首先应考虑充分利用本流域水源。非供水水源及雨水开发的可用水量作为既定补水常量,输入环境需水量计算的数学

模型^[3]。

1.4 环境需水量

环境需水量是指为保护和改善人类居住环境及其水环境所需要的水量。本研究定义的环境需水量为:在一定的污染负荷下,使水系水体达到一定水质目标而需要向河流补充的水量^[4]。

1.4.1 计算方法

采用历史观测资料的统计分析、现场观测和数值模拟相结合的研究方法,建立了3套动态数学模型^[5-6],即:①深圳河一维动态潮流和水质模型;②深圳湾三维动态水动力和水质模型;③珠江河口三维动态水动力和水质模型。深圳河、深圳湾模型用于深圳河湾水系环境需水的估算、引调水方案效果评估,珠江河口模型用于珠江口水量水质时空分布以及补水取水区的环境影响评价。

模型上游边界条件选用上游来水的流量和污染物浓度,下游边界条件选用尖鼻嘴的潮位和水质本底浓度,初始条件可以根据现状监测资料给出。各支流的径流和污染负荷近似为主河道的汇流和点源。

1.4.2 计算时几个问题的处理

①截污方法主要考虑采用‘点截污’的方法,点截污就是对排污口等点源污染发现一个截掉一个的处理方法;②以枯水年(90%保证率)枯水期的平均径流估计(河道基流);③污水总量假定2010年深圳特区的污水排放总量为209万t/d;④直排河道的污水水质根据深圳特区污水处理厂进水设计值估计,其中($\rho(\text{BOD})=150\text{ mg/L}$);⑤可供再生水量2010年为160万~170万t/d;⑥再生水质可以实现($\rho(\text{BOD})\leq 4\text{ mg/L}$)的目标;⑦污水处理厂尾水水质达到一级A排放标准;⑧支流非感潮河段的排水口一般位于河水面以上,比较容易发现和截排,因此,假设截污完成之后,支流非感潮河段基本没有污水,污水主要集中在感潮河段排放;⑨通过支流注入干流的污水之外,假设干流的排污口沿河均匀分布;⑩河流‘基本不黑臭’的关键控制指标为($\rho(\text{BOD})<15\text{ mg/L}$),河流‘不黑臭’的关键控制指标为($\rho(\text{BOD})<10\text{ mg/L}$)^[7]。

1.4.3 计算环境需水量

计算结果表明(表2):①现有污染负荷下,以珠江口或大鹏湾为水源,BOD的质量浓度为控制指标,环境需水量为500万t/d左右;②2010年,以珠江口或大鹏湾为水源,BOD的质量浓度为控制指标,在85%、90%、95%污水处理率下,要满足环境需水,需分别引调331万t/d、224万t/d和135万t/d的珠江口水或分别引调363万t/d、245万t/d和143万t/d的大鹏湾海水。此外,如果以珠江口或大鹏湾为水源,无论是截污前还是截污后,以 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、

TP、TN 的Ⅴ类地表水水质为控制目标,环境需水量都很大(大于 800 万 m³/d)。

以盐度为环境影响评价的主要因子,选取一树一鸟(红树林和黑脸琵鹭)作为生态敏感点进行研 究,在枯水期引水量超过 30 m³/d(大于 260 万 m³/d) 时,海湾生态系统有可能承受不了。同时,大规模引 调海水,将造成河道水体完全咸化,对河岸建筑物和 原有河道生态系统造成较大影响。因此,建议截污 治理的目标是,污水收集和处理率大于 90%。纵观 国内外污水治理的经验,以及深圳为新兴城市的特点, 90%的污水收集处理率是可以实现的。

表 2 以 BOD 为控制指标时水系的环境需水量

年份	处理 率/%	水源	需水量(万 t·d ⁻¹)					
			大沙河	新洲河	福田河	布吉河	深圳河	合计
2003	57	珠江口	95	70	50	160	150	525
		大鹏湾	100	75	55	175	170	575
2010	85	珠江口	60	45	30	96	100	331
		大鹏湾	60	45	33	105	120	363
2010	90	珠江口	35	31	18	60	80	224
		大鹏湾	39	34	20	65	87	245
2010	95	珠江口	19	14	10	32	60	135
		大鹏湾	20	15	11	35	62	143

1.5 补水后环境的改变

预测深圳河湾水系在 2010 年补水后结合治理 方案进行效果分析,结果表明:

a. 当城市污水处理率达到 95%时,向水系补充 80 万 m³/d 的资源化再生水,可实现全流域水体基 本消除黑臭现象。向水系补充 150 万 m³/d 的资源 化再生水,可实现全流域水体达到景观用水要求,其 中 COD、BOD、DO 等指标均可达到Ⅴ类地表水标准。

b. 当城市污水处理率达到 90%时,向水系补充 170 万 m³/d 的资源化再生水,可实现深圳河干流达 到景观用水要求,支流基本消除黑臭现象,其支流达 不到景观用水指标的河段主要位于距河口 1~3 km 处,向水系补充 170 万 m³/d 的资源化再生水,同时 对各支流的局部河段进行人工充氧和水生态修复, 可以实现全流域水体达到景观用水要求。

c. 当城市污水处理率达到 85%时向水系补充 160 万 m³/d 的资源化再生水,可实现深圳河干流、 新洲河、福田河基本消除黑臭现象,而布吉河和大沙 河,在这 2 条河流的中游依然存在黑臭现象。向水 系补充 160 万 m³/d 的资源化再生水,同时对布吉河 和大沙河的局部河段进行人工充氧和水生态修复, 可以实现全流域水体满足景观用水要求。若引调清 洁海水,可以较全面地改善深圳河湾水系的水质,若 维持污水处理厂现有出水标准,引水 220 万 m³/d 可 以达到基本消除黑臭,而引水 390 万 t/d 可以使 COD、

BOD、DO、NH₃-N 均达到景观用水或Ⅴ类水的水质目 标。如果将罗芳和滨河污水处理厂出水标准从一级 B 提高到一级 A,将使引水量减少约 100 万 m³/d。

2 工程方案

根据水源分布情况及环境需水,进行补水方案 的工程预可行性研究。

2.1 非供水水库及雨水利用

通过设闸或加高原有坝等措施来扩建深云水 库、莲塘尾水库、禾镰坑水库、金湖水库、三联水库、 鸡公坑水库、人工湖水库及新建老虎岩水库,年可供 水 725 万 m³/a,折合旱季可供环境用水为 4 万 m³/ d。在水库的底部设置直径 300~800 mm 的管道,沿 现有地形或市政道路绿化带铺设到补水河道的中上 游即可。投资为 0.83 亿元,总成本费用为 0.18 元/ m³。占地仅为新建老虎岩水库用地,约 24 hm²。

2.2 珠江口引水

引水流量为 25 m³/s(主要在旱季引水)。线路 设计方案主要是依据河道景观水体的布置、放水点 位置、建设的难易程度等方面考虑,推荐采用隧洞方 案。主要走向:近岸海域取水点(→福永水库)→铁 岗水库坝下→长岭皮水库坝下→沿塘朗山脉→梅林 山脉→布吉河上游→深圳水库坝下。全长约 36 km, 连接深圳河湾水系的大沙河、新洲河、福田河、布吉 河和深圳水库排洪河共 5 条河,并向它们补水。同 时,可进一步考虑给特区外的宝安区几条污染也已 十分严重的河流补水,补做少量工程,即可向铁岗水 库排洪河、西乡河、新圳河和双界河补水。

固戍附近海域洪水期有淡水(0.09%),可利用 水库储存。在枯水期咸淡掺和用于补水以减少引入 咸水对深圳河湾水系生态环境影响,可在茅洲河口 东侧及深圳湾修建滨海水库(福永水库)。此水库总 库容达 1 亿 m³,占地 1755 hm²(海域),其中 3 座泵站 用地 1.9 hm²。

无库方案投资共 18 亿元,总成本费用为 0.2 元/m³。有库方案投资共 29 亿元,总成本费用为 0.3 元/m³,其中,滨海水库投资约 11 亿元。

2.3 大鹏湾引水

大鹏湾引水大方案的取水点设在盐田港码头海 域,放水点设在各河道中上游(同珠江口河道放水点 位置),不考虑宝安区河道补水,流量为 22 m³/s(主 要在旱季引水),输水隧洞的断面为 4.2 m×5.4 m, 输水隧洞长 35 km,投资 14 亿元,引水总成本费用为 0.19 元/m³。但盐度高达 3.4%,引水后对深圳河口 的生态影响程度不能准确确定。

大鹏湾引水小方案只解决深圳河干流的需要,隧

洞长 14 km 投资 7.5 亿元 ,引水总成本为 0.1 元/m³。

3 结论和建议

- a. 为改善深圳河湾水系的水质 ,必须在截污的前提下对河道进行补水。
- b. 进行河道补水计算时 ,必须考虑河道的环境需水 ,经过可补水源水量、水质的论证后 ,确定河道水系的需补水量。
- c. 当污水收集和处理率大于 90%时 ,通过补水使深圳河湾水系枯水期水质达到不黑臭目标。从生态环境影响角度 ,首选方案是珠江口引海水加滨海水库咸淡水掺混 ,其次是珠江口引水 ,最后是大鹏湾引水 ,从工程经济角度 ,首选方案是大鹏湾引水 ,其次是珠江口引水 ,最后是珠江口引海水加滨海水库咸淡水掺混。
- d. 在截污先行的前提下 ,从水资源可持续利用的角度 ,首先应考虑本流域水源充分利用。

(上接第 26 页)

安全问题。“两纵六横十库”输配蓄水网络的构建 ,可改变原有的供水系统配水格局 ,实现外调水、本地地表水与地下水的联合调度运用。

b. 在强化节水措施的情况下 ,通过积极开源 ,全省可逐步实现水资源供需平衡。除非常规水源(雨洪水、海水和微咸水等)外 ,近期(2010 年)南水北调可增加供水量 38 亿 m³ ,引黄水量可增加 10 亿 m³ ,污水集中处理回用量可增加“中水”7.3 亿~14.6 亿 m³。在“南水”与本地水联合调度、充分发挥地下水年内调节和多年调节性能的条件下 ,供水月保证率可明显提高 ,城乡生活供水保证率可达 99%以上 ,工业供水保证率一般可超过 95% ,农灌保证率可达到 60%以上。

c. 加强水资源保护 ,改善全省整体生态环境。在落实水功能区划的基础上 ,通过废污水源头治理和末端集中处理 ,入河污染物将明显减少 ;在实施重要城市水源地保护措施 ,特别是以南水北调水取代本地劣质水以后 ,全省供水水质安全将得到保证。此外 ,平原深浅层地下水位将逐渐恢复 ,重要城市生态环境用水量将明显增加 ,河湖湿地供水也会有所增加。

4 结 语

目前 ,分形理论已应用于许多研究领域。由于分形理论在处理复杂系统的不规则和随机问题方面有一定的优势 ,本文应用分形理论构建了区域水资源系统脆弱性评价模型 ,并将计算得到的分维数作

参考文献 :

[1] 宗栋良 ,吴丽萍 .深圳新洲河水质现状评价与分析[J]. 人民珠江 ,2007(3):36-39.
[2] 申小艾 ,李德义 ,陈克坚 .深圳市新洲河水环境综合整治研究[J]. 广州环境科学 ,2006,21(1):1-4.
[3] 秦华鹏 ,杨小毛 ,胡嘉东 ,等 .改善深圳河水质的补水方案及生态影响初步分析[J]. 环境污染与防治 ,2005,27(7):530-534.
[4] 王超 ,王沛芳 .城市水生态系统建设与管理[M]. 北京 :科学出版社 ,2004:145-148.
[5] 裴源生 ,王建华 ,罗琳 .南水北调对海河流域水生态环境影响分析[J]. 生态学报 ,2004(10):2115-2123.
[6] 徐祖信 .河流污染治理规划理论与实践[M]. 北京 :中国环境科学出版社 ,2003:316-317.
[7] 胡国臣 ,王忠 ,常晓青 .预防水体黑臭的水质指标研究[J]. 上海环境科学 ,1999(11):523-525.

(收稿日期 2007-12-12 编辑 舒 建)

为描述系统演进复杂性的度量标准。分析结果表明 ,在积极引入“南水”、强化本地节水措施力度、努力保证生态环境用水的条件下 ,2000~2030 年河北省水资源系统的脆弱性程度将逐步改善。

参考文献 :

[1] 冯尚友 .水资源系统工程[M]. 武汉 :湖北科学技术出版社 ,1991.
[2] 吴彤 .自组织方法论研究[M]. 北京 :清华大学出版社 ,2001.
[3] 畅建霞 ,黄强 ,王义民 ,等 .基于耗散结构理论和灰色关联熵的水资源系统演化方向判别模型研究[J]. 水利学报 ,2002(11):107-112.
[4] 李少华 ,董增川 ,周毅 ,等 .复杂巨系统视角下的水资源安全及其研究方法[J]. 水资源保护 ,2007,23(2):1-3,42.
[5] 哈肯 H.协同学 :自然成功的奥秘[M]. 戴鸣钟 ,译 .上海 :上海科学普及出版社 ,1988.
[6] 唐国平 ,李秀彬 ,刘燕华 ,等 .全球气候变化下水资源脆弱性及其评估方法[J]. 地球科学进展 ,2000,15(3):313-317.
[7] 刘绿柳 .水资源脆弱性及其定量评价[J]. 水土保持通报 ,2002,22(2):41-44.
[8] 李水根 .分形[M]. 北京 :高等教育出版社 ,2004.
[9] 朱晓华 ,毛建明 .灾害发生的自组织性质探讨[J]. 灾害学 ,2000,15(2):7-10.
[10] 河北省水利厅 .河北省水利发展“十一五”规划[R]. 石家庄 :河北省水利厅 ,2006.

(收稿日期 2007-12-21 编辑 舒 建)