

城市水系统良性运作的节水减污技术关键

陈 卫¹ 吴慧芳² 孙 敏¹ 邓 风²

(1. 河海大学环境科学与工程学院 江苏 南京 210098 ;
2. 南京工业大学城建与安全环境学院 江苏 南京 210009)

摘要 针对城市水质型水资源危机普遍存在的现象 ,通过对城市水系统运作现状问题及影响因素的分析 ,从“节水减污”的角度 ,就城市需水量预测、供水技术、污水回用与雨水利用等方面 ,探讨了城市水系统良性运作的关键技术 ,提出了管理技术的两点意见。

关键词 城市 水系统 供水 节水 污水 减污

中图分类号 :TU991 文献标识码 :A 文章编号 :1004-693X(2004)01-0040-04

水的自然循环是水资源靠自然的力量不断更新以供人类利用。水的社会循环源于大自然 ,是人类为生产和生活所需从天然水体中取用 ,用过的水再排放到天然水体中的人工循环。水的社会循环是通过一系列工程设施实现的 ,城市水系统是其实体主体。城市水系统(图 1)是城市重要的基础设施 ,以城市和工业及现代农业为主要对象 ,以水资源可持续利用为目标 ,其任务是满足社会生产和生活的需要从自然水体取水 ,加工成符合不同使用要求的水 ,输送给用户 ,再将用后的污水集中并处理 ,或回用 ,或返回给大自然 ,从而实现水的良性社会循环。在社会经济高速发展和城市化进程推进的同时 ,水资源付出了极大的代价 ,污染使资源型水资源紧缺加剧 ,城市水质型水资源危机普遍存在 ,严重制约了社会经济的发展。

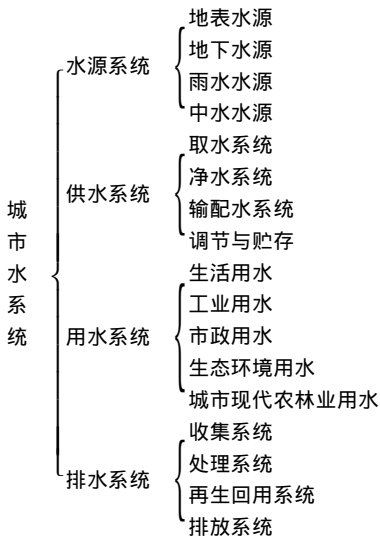


图 1 城市水系统组成

1 城市水系统运作的关键问题

在城市水系统良性运作中 ,减量保质是核心 ,即最大限度地减少用水和最大限度地减污。1988 年以来 ,全国较广泛地开展了节水型城市和节水型经济的讨论。1996 年 ,国家建设部、经济贸易委员会和计划发展委员会联合发布了《节水型城市导则》,上海、北京、天津等一批城市已经全面实施节水型城市战略。目前 ,全国 669 个城市中 80% 以上设有节水办公室 ,有些城市建立了节水管理网络。上海、北京、天津、沈阳、山东、浙江、河南和山西等省市通过节水工作 ,在一定程度上缓解了城市用水的供需矛盾 ,减少了城市污水排放量 ,取得了明显成效。然而 ,“节水减污”还仅仅是缺水城市的事情 ,其管理和技术水平不均衡 ,与发达国家相比差距很大 ,主要表现分析如下。

a. 城市水源水质与供水能力。近几年我国城市污水处理力度加大 ,污水处理率为 36.5%(2001 年) ,但以往欠账太多 ,致使高达 90% 以上的城市水域污染。污染使供水水源紧张 ,原水水质下降 ,净水处理难度加大 ,制水成本大幅度增加 ,大部分城市净水供水设施和输配水管道陈旧老化 ,使城市安全用水问题日趋严重。水体污染严重的城市 ,不得不放弃当地水资源 ,异地引水 ,其投资巨大。值得注意的是 ,目前因水资源缺乏使城市供水紧缺的城市仅占缺水城市总数的 10% ,90% 的城市是由供水能力(供水规模和供水安全性等)不足造成的^[1]。城市绿地、道路用水、洗车用水和建筑工地施工用水等均由自来水提供。城市管网漏损普遍严重 ,平均漏损高达

作者简介 陈卫(1958—) ,黑龙江哈尔滨人 ,教授 ,博士 ,从事水污染控制及水处理研究。

20%左右 其主要原因有管材管件及接口形式、基础施工、腐蚀老化、道路拓宽改造、施工损坏等,而在检漏技术和漏损控制技术方面与国外差距非常大。

b. 城市用水需求量。在政策与管理上有误区,即丰水区域对需求量少控制或不控制,以需定供仍是主流,技术上用水需求量,尤其工业用水需求量预测值偏高,节水约束不力,经济上有水经营者的利益驱使现象和行为;社会环境方面表现为用水浪费和水环境污染严重。

c. 城市用水水质标准。我国自 1986 年执行至今的 GB 5749—85《生活饮用水卫生标准》检测项目为 35 项,而美国《饮用水水质标准(1998 年)》为 94 项,世界卫生组织的《饮用水水质标准(第二版)》为 132 项。显而易见,从水质指标上看,我国的要求低,与发达国家执行标准相比差距很大。国家卫生部于 2001 年 6 月 7 日颁布的《生活饮用水卫生规范》设有 96 条,从水质指标项目数看有很大提高,但实施难度极大,一是检测设施和检测水平跟不上,二是水源水污染严重,大多数水处理工艺设施出水难达标。正在修改制定的城市杂用水水质标准将对节流开源、降低制水成本、提高用水效率、减少污染等做出积极贡献,但其内涵却缺少所占份额最大的城市绿地用水指标,令人费解。

d. 城市污水处理。城市污水排放量随用水量增加而增加。按建设部对城市污水排放量预测和处理率的要求,污水排放量将由 2001 年的 626 亿 m³ 增加到 2010 年的 1000 亿 m³,2050 年将达到 2000 亿 m³,2020 年城市集中污水处理将达到 60%,这意味着巨大的资金投入。城市污水处理中二级处理率不足 20%。集中污水处理规模、处理程度、污水再生回用率是技术经济性的关键因素。

e. 城市水经济。水是经济商品现已得到公认。全球水伙伴(GWP)^[2]、国内知名专家^[3]等对水的社会与经济属性等作了分析和讨论。城市水经济对城市水系统运作起到至关重要的作用。从水的可持续利用看,目前城市水系统运作表现出的水的完全经济成本和环境外部的总和与水的价值不平衡,即市场机制下的“市场失灵”。由此导致资源浪费、用水效率低、供水能力和污水处理设施不足等一系列问题,其症结是用水结构和水价不尽合理。

2 城市水系统良性运作的技术约束

从前述分析可见,“节流优先、减少污染”是城市水系统良性运作的根本途径。各个局部节水的集约化与整体化的终结是节水型城市。从系统工程观点看,局部节水的集约化即是在有限的水资源条件下,

为取得最佳的城市社会与环境效果而进行的水资源的合理分配与利用^[4]。在此,从“节水减污”的角度出发,探讨城市水系统良性运作的技术关键。

2.1 城市需水量预测的节水约束

城市需水量预测是城市水系统规划设计的重要依据。城市水需求控制的关键是节水。需水量预测方法主要可分为:时间序列法、结构分析法和系统方法(表 1)。

表 1 需水量预测典型方法

分 类	典型方法	分 类	典型方法
时间序列法	指数平滑法	系统方法	灰色预测法
结构分析法	回归分析法		人工神经网络法
	指标分析法		系统动力学法

时间序列法预测策略是由历史观察外推至未来。一般依据历史用水量数据建模,可对任何一个用水过程进行模拟。用计算机动态建模预测速度快,但所用数据单一,预测结果精度难以保证,且无法对需水量的真正内涵及所得偏差进行准确解释,于节水不利^[5],适用于优化控制的短期预测。

结构分析法适用于中长期需水量的预测,从节水角度来看,比时间序列法有利。但回归分析预测需要有足够长的时间的资料积累。鉴于我国绝大多数城市基础数据短缺、预测与决策体系不完善的现状,该预测方法应用上受到限制。而指标分析与回归分析有相似之处,用水定额相当于回归系数,但用水定额的通用性,使该预测方法在特殊城市或地区需水量预测时会造成较大误差^[6]。

系统方法中,人工神经网络预测实际上是对系统的一种黑箱模拟,对制定用水政策、提高水的利用率方面并无帮助。它适于短期预测和动态预报短期负荷值以及动态训练系统,而不宜用于长期预测。灰色预测可对含有不确定因素的系统预测,所需数据量不大,预测范围很广,在数据缺乏时比较有效。但当需水量发生零增长或负增长时,系统误差严重,且预测周期越多误差越严重^[6]。综上分析,在城市需水量长期预测中,没有节水约束的考虑。

近年来,由系统动力学和多目标整合模型有机结合的系统动力学模型预测方法,可以在基础数据缺乏、定量表达式难以建立的情况下,对城市需水量发展的趋势性和连贯性进行预测,比较正确地反映经济发展、用水效率、节水约束和水价约束等导致的需水量变化,能找出对城市需水量影响较大的参变量,实现对主要参变量最优的自动搜索^[7]。该方法能够考虑到许多以前无法考虑到的缺水状况、产业结构、节水率、污水回用、管理水平^[5]等,对长期需水量预测有明显优势。但系统分析过程复杂,工作量

极大。所以,技术要点是确定关键因子及其对需水量预测的影响度,为系统动力学模型合理预测节水型需水量提供科学依据。

2.2 城市供水技术关键

a. 按使用目的控制水质,改变绝大多数城市用水统一由自来水供给的不合理运作。按用途供水目的是节流开源,并使其发挥最大效益。技术关键:①与使用目的相应的水质标准;②分用途供水设施的技术经济性;③新辟水源的供水技术。水质标准能反映社会文明程度和经济发展水平,其指标要求直接影响到供水设施的技术经济合理性,而新辟水源又涉及城市污水资源化技术。

b. 水厂自用水节约与强化处理工艺。地表水厂自用水量约为产水量的 5%~10%,数量可观。通过工艺改造,仅以气、水反冲洗替代单独水洗,节水率即可达 40% 左右^[8]。沉淀池排泥废水也可视原水浊度情况考虑回流至反应池。

微污染水源水质、高要求的水质标准对常规水处理工艺,尤其是设施陈旧的工艺提出了严峻考验。围绕这个问题已经进行了很多的研究和应用尝试,主要集中在预氧化、强化混凝与澄清、深度处理和生物处理等方面。其中,EM 技术(有效微生物群)和与新材料结合的生物处理技术为疑难水净化问题的解决提供了新的途径。尽管如此,还远远不能满足生产的需要。因水源污染程度不同,水厂现状各异,强化和改造工艺个案性强。应用效果好的工艺措施,有借鉴作用,但推广普及就受到一定限制,应结合具体情况补充小型试验。

c. 输配水系统的漏损控制。城市管网 20% 的漏损率,对供水能力为 100 万 m^3/d 的城市而言,就意味着一座 20 万 m^3/d 规模水厂的供水全部白白流失。近年来,旧城改造和道路拓宽等建设工程越来越多,管网漏损有增加趋势。其原因一是由工程施工破坏地下敷设管道造成,二是原敷设在车行道路边下的管道因道路拓宽而现处在路中央下面,承受荷载情况发生变化,导致管道漏损。解决漏损的技术关键可从两方面考虑:①设计和施工方面,管材管件质量符合承压和防腐要求,采用柔性接口及密封方式,适当增加管道埋深,严格基础施工处理;②管理技术方面,在漏损控制技术、检漏定位技术、流量监测技术,以及数据采集、分析处理、与 GIS 和 GPS 配合的决策管理等方面应增加设施投入和人员技术培训。

2.3 城市污水再生回用与雨水利用技术关键

城市污水回用与雨水利用可减少污染、获得城市可利用水资源量,更体现了水的优质优用、低质低用的原则^[9],其合理性与必然性已为国内外大量实践所

证实,如北京、天津、大连、青岛、泰安、太原等严重缺水城市已实施较大规模的城市污水回用和小范围的雨水利用,分别服务于工业、园林、市政与环境卫生等行业,但是,这仅仅限于极少数严重缺水、而城市地位显要或重要的城市。从城市水质型水资源紧缺普遍性和水的可持续利用来看,这项工作必须要全面实施,否则,城市水系统运作必定陷入恶性循环。从工程技术层面分析,污水处理和再生水处理工艺单元的先进性与国外相比不落后,甚至有领先技术。城市雨水利用越来越受到重视,也开展了相应的技术与探讨,提出了一些对策和技术措施^[10~12],但由于种种原因,尚缺乏系统性和工程实践。

因此,工程技术研究的关键点应集中在:

a. 合理确定大中城市污水处理厂规模,以解决排水管网投资巨大而引发的经济性问题;重视小城镇污水处理。

b. 严谨而实事求是地制定污水排放标准与回用水标准,这关系到水处理工艺水平、水的低质低用、水资源污染程度,以及污水资源化的经济性。

c. 研究工艺单元的优化组合,以解决水质与用途个案性的问题。

d. 重视研究城市集中污水处理与再生利用、城市基本单元——居住区污水处理与中水回用两者的技术经济性,并以高效、低耗、投资省、管理易为原则,研究居住区中水利用技术与应用。

e. 进一步研究科学、经济、合理的城市雨水利用技术与措施,制定技术标准与规范,并实施工程应用。

3 管理层面的技术支持与保障

城市水系统作为基础设施建设,受计划经济体制的影响最深,在城市水系统良性运作的管理层面还有很多有待解决的问题。近年来,关于水价和污水收费的讨论和调整较多,管理体系上也有“水务化”管理的行动。但是,城市水务化管理的内涵和机构合理化,不应用简单的机构组合来界定其内涵,统一管理要在政策方针、法律法规、标准规范的约束下实现。关键的技术问题在于一是改污水处理不达标的罚款为承担风险交费或费改税,强化污水控制与治理承担方的责任,约束治理效果;二是城市水系统良性运作的优化调度与 GPS 技术的推广与应用。

参考文献:

- [1] 邵益生. 中国城市水可持续管理的战略对策[A]. 中国水工业科技与产业[C]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000. 37~48.
- [2] Rogers P, Bhatia R, Huber R. Water as a social and economic good: How to put the principle into practice[R]. Global Water

Partnership. Stockholm , 1998.2 ~ 12.

[3] 许保玖. 试论中国水工业[J]. 给水排水 ,1996 ,22(2) :55 ~ 57.

[4] 董辅祥 ,董欣东. 城市与工业节约用水水理论[M]. 北京 :中国建筑工业出版社 ,2000.35.

[5] 张兴芳. 城市需水量预测方法的研究[J]. 太原理工大学学报 ,2000 ,31(2) :159 ~ 160.

[6] 张雅君 ,刘全胜. 需水量预测方法的评析与择优[J]. 中国给水排水 ,2001 ,17(7) :27 ~ 29.

[7] 张雪花 ,郭怀成 ,张宝安. 系统动力学多目标规划整合在秦皇岛市水资源规划中的应用[J]. 水科学进展 ,2002 ,13(5) :351 ~ 357.

[8] 邓彩玲 ,张俊贞 ,安鼎年. 水厂滤池冲洗技术及节水效益[J]. 中国给水排水 ,1997 ,22(增) :33 ~ 35.

[9] 郑兴灿. 我国城市节水减污的技术与经济问题研究[D]. 哈尔滨 :哈尔滨工业大学 ,2001.

[10] 陈卫 ,孙文全 ,邓风. 我国城市雨水利用途径与生态保护探讨[J]. 中国给水排水 ,2000 ,16(6) :26 ~ 28.

[11] 王琳 ,杨鲁豫 ,王宝贞. 城市水资源短缺与雨水收集利用[J]. 给水排水 ,2001 ,27(2) :1 ~ 3.

[12] 汪慧贞 ,车武. 浅议城市雨水渗透[J]. 给水排水 ,2001 ,27(2) :4 ~ 7. (收稿日期 :2003-09-22 编辑 :高渭文)

(上接第 17 页)

表 2 不同试验条件下各污染指标的处理效果 %			
试验条件	COD 去除率	BOD 去除率	NH ₃ -N 去除率
1	83.7	86.4	84.7
2	85.1	87.9	85.2
3	85.8	90.2	87.0
4	88.2	92.5	88.7
5	90.5	95.0	90.6

在试验条件 5 的情况下 ,各污染指标的平均质量浓度见表 4。由表 4 可见 ,NH₃-N 质量浓度的减少量与 NO₃-N 的增加量相当。该条件下各反应段的污泥质量浓度见表 5。

表 3 不同试验条件下各反应段 COD 和 NH ₃ -N 的平均质量浓度										mg/L
试验 条件	入 流		Ⅰ(厌氧段)		Ⅱ 好氧段)		Ⅲ 好氧段)		Ⅳ 好氧段)	
	COD	NH ₃ -N	COD	NH ₃ -N	COD	NH ₃ -N	COD	NH ₃ -N	COD	NH ₃ -N
1	300	36	90	12.0	73	9.3	59	7.7	49	5.4
2	257	28	76	10.7	57	8.0	41	6.4	38	4.2
3	290	30	88	10.3	60	7.4	46	5.9	41	3.9
4	271	27	63	9.8	51	7.1	41	5.4	32	3.1
5	307	37	108	11.0	80	9.0	56	5.2	29	3.5

表 4 试验条件 5 下各污染指标的质量浓度					
反应段	COD($M \pm \sigma$)(mg·L ⁻¹)	BOD($M \pm \sigma$)(mg·L ⁻¹)	BOD/COD	NH ₃ -N($M \pm \sigma$)(mg·L ⁻¹)	NO ₃ -N($M \pm \sigma$)(mg·L ⁻¹)
入 流	307 ± 49.6	170 ± 26.5	0.56	37.4 ± 6.2	1.37 ± 0.2
Ⅰ(厌氧段)	108 ± 30.7	54 ± 5.6	0.50	11 ± 6.0	6.11 ± 0.9
Ⅱ 好氧段)	80 ± 19.3	37 ± 5.3	0.46	9 ± 5.7	13.93 ± 1.3
Ⅲ 好氧段)	56 ± 8.8	20 ± 4.2	0.36	6.5 ± 4.6	15.97 ± 2.0
Ⅳ 好氧段)	29 ± 2.8	8.4 ± 1.3	0.29	3.5 ± 2.4	21.7 ± 2.1

注 M 为平均值 σ 为标准偏差。

表 5 试验条件 5 下各反应段的污泥质量浓度 mg/L					
反应段	VSS	标准偏差	反应段	VSS	标准偏差
1	2 100	50	3	2 450	70
2	1 950	120	4	4 700	250

2.2 污泥沉降特性

在试验过程中亦能改善污泥的沉淀性能 ,结果见表 6。由表 6 可见 ,在试验条件 5 的情况下污泥体积指数下降了 50% ,已无污泥膨胀现象。

表 6 不同试验条件下的污泥体积指数 mg/L					
试验条件	SVI	标准偏差	试验条件	SVI	标准偏差
1	300	20	4	240	23
2	250	25	5	150	15
3	220	18			

3 结 语

a. 本文的活性污泥处理工艺将回流的污泥分配给各反应段 ,随着最后一反应段污泥回流量的增加 ,提高了污水中有机物和 NH₃-N 的去除率。

b. 由试验可知 ,该工艺最佳的处理效果为 10% 的污泥回流至第一厌氧反应段 ,10% 的污泥回流到第二好氧反应段 ,80% 的污泥回流至最后一好氧反应段。

c. 在多级好氧工艺中的厌氧段 ,有机物去除率相对较低。

d. 在回流污泥分配给各反应段的过程中 ,随着以后各反应段污泥量的增加 ,污泥的沉降性能得到了改善。

参考文献 :

[1] Balmer P ,Berglund D T ,Enebo L. Step sludge :a new approach to wastewater treatment[J]. Water Pollution Control ,1967(39) : 1027. (收稿日期 :2003-06-10 编辑 :胡新宇)