

城市达标污水的处置技术

陈 卫¹, 范兴荣², 郑天柱¹, 郑晓英¹, 汪 翊¹

(1. 河海大学环境科学与工程学院, 江苏 南京 210098 ;
2. 昆山市环境保护局, 江苏 昆山 215300)

摘要 城市污水处理厂达标污水水质相对于地表水环境质量标准而言, 仍含有大量的污染物质, 排放不当仍然是水体污染源。节水减污的再生水利用是达标污水的主要出路之一。分析了再生水利用尚存在的问题; 提出达标污水出路的总体思路, 重点讨论了达标污水深度处理, 与再生水利用相适应的输配水管网设计, 直接排江、排海处置, 河口处置, 区域或地域通道转移和设计等技术对策与措施。

关键词 达标污水; 深度处理; 再生水; 转移处置; 城市给排水

中图分类号: X703.1 文献标识码: A 文章编号: 1004-693X(2005)04-0022-04

Study on the disposal technology of urban permitted discharge

CHEN Wei¹, FAN Xing-rong², ZHENG Tian-zhu¹, ZHENG Xiao-ying¹, WANG Hui¹

(1. College of Environmental Science and Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Kunshan Environment Protection Bureau, Kunshan 215300, China)

Abstract: Permitted discharge from the municipal wastewater treatment plant contains large amounts of pollutants according to Environmental Quality Standard for Surface Water, and it would still be pollution source if it is inappropriately discharged. One of the main disposal ways of permitted discharge is water reclamation and reuse. Problems existing in the water reuse were discussed. The overall concepts of permitted discharge disposal were put forward, and the emphases were on the advanced treatment, the design of pipe network for the transport and distribution of reclaimed water, the disposal method of direct discharge to rivers or sea and estuary disposal, the diversion and design of regional channels, and other countermeasures.

Key words: permitted discharge; advanced treatment; reclaimed water; transport disposal; urban water supply and sewerage

2002 年, 全国废水排放总量为 439.5 亿 t, 比 2001 增加 1.5%。随着城市化和工业化进程加快, 城市和工业排污量将不断增加。到 2005 年, 我国城市污水处理率将达到 45%, 重点城市达到 60%, 这意味着仍将大量未经处理的污水进入自然界水体。同时, 城市(含工业)污水处理厂出水(以下简称达标污水)中仍然含有大量污染物质, 集中直接排放水体, 是不容忽视的水体主要污染源。本文探讨城市达标污水处置技术关键, 以期设计平原河网地区达标污水出路方案提供借鉴。

1 达标污水排放污染与再生利用

1.1 达标污水排放的污染问题

比较 GB 18918—2002《城镇污水处理厂污染物排放标准》和 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》, 参照较高排放要求的一级标准的 B 标准, 各项指标要求仍差异较大(见表 1), 即相对于地面水环境质量而言, 达标污水仍含有大量的污染物质。若达标污水排放量大、排放点设置不合理或排放点过于集中等, 仍会使污染负荷量超过接纳水体的纳污

表 1 地表水环境指标与达标污水污染物指标比较

mg/L

标准	水质	$\rho(\text{COD}_{\text{Mn}})$	$\rho(\text{COD}_{\text{Cr}})$	$\rho(\text{BOD}_5)$	$\rho(\text{NH}_3\text{-N})$	$\rho(\text{TP})$	$\rho(\text{FN})$	$\rho(\text{石油类})$
GB 3838—2002 《地表水环境质量标准》	Ⅳ类 Ⅴ类	10 15	30 40	6 10	1.5 2.0	0.3 0.4	0.5 1.0	0.01 0.1
GB 18918—2002《城镇污水处理厂污染物排放标准》	一级标准的 B 标准	—	60	20	8(15)*	1.5	3.0	0.5
比值	①	—	2.0	3.3	5.3(10.0)**	5.0	6.0	50.0
	②	—	1.5	3.0	4.0(7.5)**	3.75	3.0	5.0

注 ①、②分别为一级标准的 B 标准与Ⅳ类、Ⅴ类水体水质标准之比；* 括号内、外数值分别为 $\leq 12^\circ\text{C}$ 和 $> 12^\circ\text{C}$ 时的控制数值；** 括号内、外数值与“*”项数值对应。

能力,导致水体污染加重。尤其对饮用水水源的污染,将给饮用水处理带来极大的困难。日本东京都污水处理率达 95% 以上,但东京湾富营养化仍有增长的趋势,赤潮时有发生。当川崎市、横滨市和东京都的污水二级处理率都达到 100% 时,达标污水排放的负荷仍占入海负荷的大半,海水上层水 COD_{Mn} 质量浓度仍为 5.46~5.75 mg/L,达不到 GB 3097—1997《海水水质标准》要求^[1]。水系发达的江浙平原河网地区是我国经济增长和社会发展最具活力的地区之一,城市化进程快,城市连绵带越来越大,污水和达标污水排放量不断增加。尽管污水处理率在提高,2002 年工业废水排放达标率为 95.9%^①,70 余座城市污水处理厂建成或在建,但清污不分、大量污水和达标污水就近排入流速小、流向不定的河网水系,致使河网地区水资源污染状况日趋严重,水生态环境状况愈显脆弱和功能减退。根据江苏省 2003 年 12 月对境内 21 个有效水质监测断面的评价统计,Ⅳ类至劣Ⅴ类水质的断面占 47.5%,其中Ⅴ类及劣Ⅴ类水质的断面占 28.5%。可见,达标污水排放污染状况不容忽视。

1.2 污水再生回用问题

污水是城市稳定的淡水资源。国内外污水资源化的实践表明,再生回用是节水减污、保持健康水循环不可缺少的措施,是达标污水的主要出路之一。

日本、以色列、美国、南非等国家早已推广了污水深度处理与再生水利用^[1,2]。我国对城市污水资源化理论与应用的研究也越来越重视,在北京、天津、秦皇岛、沈阳、大连、太原、青岛、泰安、深圳等城市重点建设了再生水利用于市政景观和工业冷却等示范工程。值得注意的是,目前污水和达标污水深度处理再生利用还仅仅限于缺水和严重缺水的地区和城市,且回用水量相当有限。主要问题集中在缺少必要的政策引导和水资源优化调度配套机制,再生水利用的配套法律法规不健全,城市排水规划原则与管道系统布置滞后于再生水利用的要求与发展,污水深度处理工程投资、资金筹措渠道、再生水

价格、收费与经营方式等有待探讨,分散式污水深度处理技术尚不够成熟,其设施运行管理良莠不齐等。由中国市政工程华北设计研究院主持完成的“城市污水再生利用政策、标准和技术研究与示范”课题,从城市污水再生利用发展战略及技术、经济和产业政策体系,再生水分类水质指标体系及标准,城市污水再生利用的关键技术等方面开展研究,并实施了工程示范,如天津开发区污水处理厂、纪庄子污水处理厂和青岛海泊河污水处理厂进行的污水再生利用研究与示范工程中均提出:应将再生水列入未来城市总体发展规划中,进一步体现发展循环经济、建立节水型城市的先进理念;应尽快使自来水价格向实际价值回归,以进一步为再生水市场化推进提供价格空间,实现再生水价格由政府补贴到有利可图的转变。其成果为城市污水回用的全面实施和推广应用提供了科学依据和政策、经济、技术及其应用的支撑。

2 达标污水处置技术对策

2.1 基本原则与总体思路

近年来,对达标污水出路研究的总体趋势是控源、净化、输导和综合。达标污水出路应以深度处理再生利用与达标污水通道输送排江、排海处置或生态工程净化处理相结合为原则,根据各地区或各城镇总体规划、产业布局、江河湖库的水环境容量和水功能区划,结合当地的地形地貌,尤其对江河湖泊纵横交错且受江潮影响较大的平原河网地区,要结合水流向顺逆变化,芦苇密布,江滩、河滩、沙洲与湿地较多等特征,进行综合设计。达标污水排江、排海的通道建设则应以小区域为主、大区域为辅的原则,科学合理设置排污口和选定排放方式。

达标污水按行政区就地消化即深度处理与再生水利用,可达到节约水源、减少污染物排放量的双重目的,余量部分进入划定的污水通道输送,即以水功能区划的目标水质为约束,根据每个市(县)内河的水环境容量和水环境功能规划,选取一条或两条

① 江苏省环境保护厅.江苏省环境状况公报.2002.

河道作为该行政区的污水通道,在排放口处利用江滩、河滩、沙洲、湿地等自然生态系统和强化生态工程进行生态净化后,排放水体。这样,有利于分清投资、施工、水环境长期维护管理的责任关系,有利于水环境改善和可持续利用。

2.2 达标污水处置技术关键

2.2.1 达标污水深度处理

城市污水处理厂的规划、设计与建设要改变仅仅以达标排放为目标的思路,应既满足区域水污染控制要求与相应的排放标准,也要与城市污水的再生利用需求与水质要求协同,即排放与再生要求应适当统一和相互协调^{3]}。

污水或达标污水的深度处理不仅仅局限于三级处理。根据再生水的使用要求,针对特殊污染物指标,对二级处理进行强化和改革的新工艺,以及与之优化组合的工艺系统,均可视为深度处理技术。如厌氧—好氧生物处理、活性生物滤池、臭氧—活性炭、微滤与超滤膜分离、膜生物反应器,以及物化生化组合工艺及其优化与集成等。污水有机负荷高,以生化法为核心的污水深度处理工艺往往采用多反应器的组合工艺,即创造不同的环境条件,将不同种群的微生物在空间上相对独立分布,以获得稳定、高效的运行效果,获得了广泛应用。

达标污水水质不同于原污水水质,有机负荷低,相对而言属贫营养污水。达标污水深度处理工艺优化组合形式及其生物处理技术,有待深入研究和应用验证,尤其要系统地研究适合于低负荷贫营养达标污水生物处理的微生态环境特性,进而完善生物处理技术,使出水生物稳定性大大提高,出水水质能够满足相应回用用途的水质标准。

2.2.2 城市排水工程规划与再生水回用的关系

与污水深度处理再生回用相配套的管道系统设计,应突破常规“集中建大型污水处理厂,以发挥规模效益和降低建设费用”的规划设计思路。德国曾经对较大城市集中建一个污水处理厂还是多个污水处理厂做过技术经济分析,其结果为后者占优势。从再生水回用角度考虑,若污水厂集中设置,势必远离再生水用户,加大输配水管道投资,增加再生水制水成本,有碍于再生水利用。因此,在扩建或新建给水排水管道工程时,应综合考虑促进再生水利用、减轻排水管网投资负担、易于分期建设等因素,优化城市排水系统及污水厂布局、小区域再生水回用管道系统的设计与实施。

2.2.3 达标污水生态净化工程

合理利用江滩、河滩、沙洲、湿地等自然生态系统对达标污水净化,可以节省一部分深度处理投资,

且使出水达到预定的水质目标。在已有利用土壤—植物—水生生物生态系统对水中污染物的截留和吸附规律,以及对污染物净化效果的研究基础上,应重点研究江河湖库岸边带的强化生态工程“与自然和谐”的工艺措施和技术条件,以及保护滩涂和湿地生态环境的技术对策,避免在工程应用中因管理不当造成水土流失和地下水水质污染。

我国用塘系统处理污水并利用净化水已有2000余年的历史。20世纪90年代后发展更加迅速,在中小城市和乡镇应用较多,已有污水氧化塘数万座。美国拥有污废水处理塘11000余座,德国3000余座,法国2500余座。塘处理系统正在向高效化(高负荷和高出水水质)工程化、生态化发展。

在有湿地资源的城市,采用塘与湿地相结合的生态处理系统,使污废水在其中得到净化、回收和再用的同时,湿地也获得了水和养分而茂盛,形成稳定的湿地生态系统,起着净化空气、调节气候、成为多种生物栖息地等的作用。人工湿地污水处理技术正在中南美洲、非洲、澳洲和亚洲迅速增加,在欧洲共有6000余处,在北美有1000余处。人工湿地基建费、运行费低廉,运行操作简便,但处理效率高,能高效去除多种多样污染物,如有机污染物、重金属、盐类、氮磷、病原微生物等。

东营市沙营污水处理厂的生态塘(人工湿地污水处理系统)在运行期间取得了良好的处理效果(表2)^{4]}。

表2 生态塘运行效果

水质指标	$\rho(\text{SS})$	$\rho(\text{BOD}_5)$	$\rho(\text{COD})$	$\rho(\text{NH}_3\text{-N})$	$\rho(\text{TP})$
原水	36.0~78.5	27.0~65.7	72.0~212.0	6.5~28.8	0.81~3.16
出水	10~20	0.7~10.0	8~20	0.17~0.25	0.7~1.0
总去除率/%	86.2~96.6	93.8~97.6	75.6~91.5	97.2~98.8	31.8~68.0

2.2.4 达标污水直接排江、排海处置选择

根据水环境功能区和水资源开发利用的实际情况,在分析现状入江污染物总量、水环境容量和水动力学条件的基础上,确定适合达标污水直接岸边排放或离岸深水排放的江段,研究达标污水直接排放的条件、岸边排放和离岸深水多孔潜没排放的工艺特点及环境效应;深入研究集中式达标污水排放对江河湖海生态环境的影响,达标污水喷射对江海水体水文、水底底质、航道淤积的影响等^{5]}。

在内陆地区,达标污水在适当江河段排入,主要利用自然水体的同化能力来处置达标污水;在沿海地区,有条件的可以选择达标污水排海,利用海水的自净能力处置达标污水。污水江河处置与污水海洋处置具有许多不同点,江河水系与海洋水体的环境

条件差异较大,决定了江河污水处置工程与海洋污水处置工程具有不同的技术要求:

a. 江河水体密度与海洋水体密度不同。一般,江河水体是非密度分层的均匀密度水体,排放污水的密度与之基本相同,排放口近区浮力作用可忽视,故污水江河处置的混合区计算可以不考虑浮力的作用。而海洋水体密度受含盐量的不同呈非均匀或分层状态。海水密度往往大于排放污水的密度,排放口近区存在浮力作用。

b. 江河与海洋水体流动规律不同。江河水体流动大多数是单向的(除河口外),而海洋水体流动是潮汐非定向的,并且变化范围较大。

c. 与海洋相比,江河水域范围极为有限,江河宽度和水深较小,限制了扩散器的长度和喷口的喷射角度(扩散器长度不得超过江河宽度的 $1/3$,扩散器喷口的喷射角小于 45° ,以增加射流轴线的长度)。

d. 江河与海洋水体要求不同。通常,江河水体水环境质量要求高于海洋水域。在进行污水江河处置时,必须考虑上下游取水口分布情况及特殊构筑物的位置、鱼类等水生生物的回游通道等因素。

e. 污水处置工程的实施及运行不能影响江河通航。

2.2.5 达标污水河口处置

河口水系的状况比河流或湖泊水域的状况更为复杂,如潮汐的涨、落在接近河口的河段可以明显地引起水平方向的混合。涨潮时常会改变河口的水流方向,河口区水体会出现淡水在海水在下的垂直分层等现象。

对污水排放来说,河口区与河流相比有两个显著特点:

a. 由于潮汐的影响,流动具有非恒定性,污染带变化复杂。水流动随时间变化,排放污染带也随时间变化。落潮时出流污水偏向下游形成污染带,涨潮时出流污水偏向上游形成污染带。

b. 盐度或水温不均匀引起水体的密度分层,形成所谓异重流。密度小于周围流体的射流进入分层水体后,受浮力作用而上升,同时卷吸周围密度较大的流体,掺混后射流的密度增大,在上升过程中周围流体的密度逐渐减小,所以射流以外的密度差逐渐减小,即浮力随射流高度的加大而减小。如水深较大,就会上升至某一高度而停止升高,向旁侧散开,即存在一个最大升高。这种情况与排海工程相似,对排放污水是有利的,污水可在水下稀释,并保持水面清洁。

达标污水河口处置比较复杂,无论是理论计算还是试验研究都存在很多问题。因此,在实际工程

中,根据水域的具体情况和计算精度要求,可以把问题加以简化,如动态过程简化为准动态,非线性密度分层近似按线性分布水体考虑等^[5],并对计算成果进行适当修正。达标污水河口处置要求严格控制排污负荷量和排放方式。在潮汐河口采用落潮排放方式,以防止对上游水质的影响。为防止河口区诱发赤潮,应充分研究河口区段水动力学条件,排污负荷应控制在近海水环境容量范围内,排放口宜设置在凹岸段,或者采用离岸深水排放方式。

2.2.6 达标污水转移和通道设计

结合区域水系、地形地貌和水环境容量,分析区域达标污水通道建设的可行性和转移达标污水的规模,并以小区域为主、大区域为辅的原则进行通道设计。

转移通道应以河道、明渠和管道相结合进行统一规划。利用污水通道输送时,水质监测与管理特别重要。在跨越行政区界转移通道上,应在行政区交界处设立监测断面,实时监测通道水质,明确责任和加强管理。明渠通道设计时,结合当地水系特征,应当充分利用地形条件进行设计。明渠通道的平面布置,应远离水源保护区和自然保护区,远离人口密集地区和地下水超采严重地区,否则应改用重力排水管道进行输送。与水源河道交叉时,宜采用涵管立体穿越。重力排水管道的设计应符合室外排水设计规范的要求。

2.2.7 达标污水处置方案的技术经济分析

达标污水出路方案的技术经济问题和投资对策直接关系到该方案的实施可行性。达标污水深度处理在技术安全、可靠、高效和先进的同时,还必须满足经济合理、管理方便和使用寿命长等要求。达标污水土地生态净化处理出水水质可达到三级处理程度,具有建造、运行、管理费用低的优点,可大大降低成本。达标污水直接排江、排海处置与转移通道的技术经济分析重点是对地形地貌、水系条件的充分利用和输送方式的合理性分析,直接影响到管渠费用、工程费用和泵站费用等。达标污水深度处理及就地回用与远距离转移通道相比,有其经济优势,但尚需结合实际进行量化分析。

3 结 语

选择适应城市及其周边地区发展的达标污水出路方案,是维系城市良好水环境的重要举措,直接关系到城市水资源的可持续利用和社会经济的可持续发展。达标污水处置应结合各地区各城镇发展总体规划、产业布局、水环境容量和水体自净能力、水功能区划和水污染特征等,合理设计(下转第66页)

现为公民或相关单位可以依法对流域管理部门提起诉讼。为探讨流域管理的公众参与机制,主要强调公民或环保团体对流域管理部门的行政诉讼或民事诉讼。

应该明确,环境公益的维护与增进不是政府的专有领域,公民、法人或其他组织也应是维护、增进环境公益的当然主体。国家机关应鼓励民众通过公益诉讼等形式积极参与流域管理的社会监督,建立健全有关公益诉讼的制度。民众在公益诉讼中胜诉后,一切合理付出都应确保得到补偿,避免民众在公益诉讼中陷入得不偿失的窘境;同时,还可考虑设立公益诉讼基金(政府拨款、社会捐助、追缴侵害公众利益的行业、部门、组织的非法收入或对其所进行的罚款,均可作为基金来源),用以奖励和支持民众进行公益诉讼;另外,还应鼓励环保组织、法律援助机构等公益组织对民众进行公益诉讼提供支持和援助。

我国法院实行不告不理原则。当公民、法人或其他组织环境权益受到侵害时,如果公民、法人或其他组织没有主动提起诉讼,法院很难介入。有鉴于此,我国可借鉴普通法上“公民诉讼”条款,将自力救济引向公力救济。原告为具有民事行为能力的自然人,可以与流域管理部门造成的损害后果无直接利害关系。环境立法应将我国《行政诉讼法》与《民事诉讼法》上当事人资格放宽,规定公益诉讼中原告资格可扩大到与案件有利害关系的公民、法人或其他组织,诉讼的事由可以为流域管理部门一切与公益有关的行政行为或民事行为。

3.3 社区自治建设

流域公众参与机制的贯彻归根结底还需要靠全社会,主要是流域民众权利意识、参与意识的提高。社区自治是公众参与机制具体运行的雏形,是公众自我管理教育的新模式。在自治社区里,公民经常参与社区公益活动,居民代表参加联席会议,参与社区决策,由居民组成的居民委员会对社区事务进行监督,自我管理公共事务有利于权利意识、公民意识的培养。社区自治是民众在其居住区内接受权利教育,参与社区决策、监督社区事务的基础。流域内每一个社区都是流域社会的一部分,社区自治模式的推广必然增进公众对流域管理工作的支持和监督,形成流域管理坚实的群众基础,促进整个流域民众参与流域管理,为流域管理的成功提供可靠保证。

3.4 其他制度

流域管理部门应公开决策管理过程,定期公布流域管理的相关资料,对与公众利益相关的决策管理举行公开听证,并将公众在听证会上的意见作为决策管理的重要参考,对未采纳的公众意见应出具

公报予以说明,以保障公民知情权、建议权的实现。公民有权自愿成立公民流域管理社会团体或公民非政府群众组织,并通过这类组织参与流域管理;公民或公众团体有权就流域资源环境问题或事务进行信访、抗议、请愿、集会、游行、示威活动^[9];对水环境管理部门或工作人员不当行政行为和违法行为,有权进行批评、检举、监督。媒体(广播、电视、报纸、网络)应充分发挥宣传和监督作用,正确引导公众参与流域管理,利用舆论监督流域管理部门依法行政,保证流域管理的资源配置最优。

参考文献:

- [1] 霍家明.流域管理体制改革的新构想[J].海河水利,2000(2):12~13.
- [2] 王树义.流域管理体制研究[J].长江流域资源与环境,2000(4):419~420.
- [3] 陈易.公众参与中的若干问题[J].城市管理,2000(1):61~62.
- [4] 王燕.论环境法的公众参与原则[J].徐州师范大学学报(哲学社会科学版),2000(1):136~138.
- [5] 蔡守秋.环境资源保护法[M].武汉:武汉大学出版社,2000.250.
- [6] 邓正来.市民社会理论的研究[M].北京:中国政法大学出版社,2002.14~15.
- [7] 石秋池.法国的流域管理[J].水资源保护,1997(1):1~2.
- [8] 石春先,张锁成.从TVA发展历程探讨黄河流域管理方向[J].人民黄河,2000(5):1~4.
- [9] 蔡守秋.环境政策法律问题研究[M].武汉:武汉大学出版社,1999.329~330.

(收稿日期 2004-06-20 编辑 傅伟群)

(上接第25页)达标污水处理方案,因地制宜地选用和确定深度处理、生态净化工程,有条件的地区直接排江、排海处置,并在综合技术经济分析的基础上优化实施。

参考文献:

- [1] 张杰,曹开朗.城市污水深度处理与水资源可持续利用[J].中国给水排水,2001,17(3):20~21.
- [2] 雷乐成,杨岳平.污水回用新技术及工程设计[M].北京:化学工业出版社,2002.27~34.
- [3] 张悦,郑兴灿.城市污水再生利用的技术经济策略[J].建设科技,2000(2):17~20.
- [4] 王宝贞,王琳.水污染治理新技术[M].北京:科学出版社,2004.175~178.
- [5] 王超.污水处置理论与技术[M].南京:河海大学出版社,1998.5~6.

(收稿日期 2004-06-09 编辑 傅伟群)