

# 区域尾水处置研究进展

杜娟<sup>1</sup>,倪天华<sup>2</sup>,刁维萍<sup>3</sup>,左玉辉<sup>2</sup>

(1. 徐州市环境保护局,江苏 徐州 221052; 2. 南京大学环境学院污染控制与资源化研究国家重点实验室,江苏 南京 210093;  
3. 浙江大学环境资源学院,浙江 杭州 310029)

**摘要** 基于水污染的区域化和流域性特点,提出了区域尾水的概念,并对其范围和内涵作了讨论与界定。通过综述国内外区域尾水处置的研究和实践,评述了区域尾水的三种控制模式的优缺点,认为要有效解决区域性尾水处置问题,必须根据区域的社会、经济、环境的实际情况,将人工处理、尾水分流与生态处理三种处置模式有机结合,通过整合与集成,建立区域性的尾水处置体系。根据水污染控制的工作程序和尾水处置的实际情况,提出“三级控制、三级标准”的尾水控制模式可能是建立系统契合、全过程控制的区域水环境污染治理的有效途径之一。

**关键词** 区域尾水;人工处理;清污分流;生态工程

**中图分类号** X52 **文献标识码** A **文章编号** 1004-693X(2006)06-0081-05

## A review on disposal of regional treated wastewater

DU Juan<sup>1</sup>, NI Tian-hua<sup>2</sup>, DIAO Wei-ping<sup>3</sup>, ZUO Yu-hui<sup>2</sup>

(1. Xuzhou Environmental Protection Bureau, Xuzhou 221052, China; 2. State Key Laboratory of Pollution Control and Resources Reuse, Environmental school, Nanjing University, Nanjing 210093, China; 3. College of Environmental and Resource Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China)

**Abstract** Based on the characters of water pollution in different regions and drainage areas, the concept of regional treated wastewater was put forward, with its scope and notion defined and discussed. Then the progresses of regional treated wastewater disposal were reviewed, and the advantages and disadvantages of three disposal methods, including artificial treatment, treated waste water diversion, and ecological treatment, were compared. Effective disposal of regional treated wastewater would not be realized only by combination of the above three based on the actual conditions of society, economy and environment, etc. Finally, according to the procedure of water contamination control and the actual condition of treated wastewater disposal, a model of triple control and triple standard was put forward, and it would be one of the most effective ways to realize regional water pollution remediation.

**Key words** regional treated wastewater; artificial treatment; diverting wastewater from clean water; ecological engineering

随着社会经济的快速发展和环境管理力度的不断加强,区域水污染负荷已经或正在实现三个集中:工业废水向工业园区集中、生活污水向城镇集中、城镇污水向城市污水处理厂集中。在许多地区,区域性尾水已经成为区域水环境重要的污染源。例如,南非及加拿大的许多湖库,都受城镇和工业地区的城市污水二级处理厂所排放的尾水的影响而发生水质恶化<sup>[1]</sup>。1992年,多瑙河流域氮和磷的输入量

分别为 82.5 万 t 和 10.5 万 t,其中污水处理厂出水的贡献率均在 20%~25%,是造成多瑙河三角洲和黑海水质恶化、富营养化征兆明显的重要原因<sup>[2]</sup>。在许多经济落后、环境管理不善的地区,大量原生污水与尾水混合排放,更加剧了区域尾水污染问题的复杂性和治理的艰巨性。

尾水处理属于污水的深度处理,它承担将区域污水最终转变为清水的任务。尾水直接排入河流不

但浪费了资源,还会污染河流、影响地表水达到水环境标准。为确保区域水环境的长治久安,从水污染控制全局出发,控制区域尾水质量,开拓尾水的用途,实现区域尾水资源化是区域水污染控制的重要环节。

## 1 区域尾水的概念

随着水污染控制研究的发展和深入,不少发达国家和地区开始认识到水污染治理应该强调区域的协同作用。水污染发生是分散的,但其对人与环境的和谐性损伤却是整体性的、区域性的。因而,水污染控制必须立足区域层面,打破条块分割,发挥各地比较优势,区域协作、城乡结合,实现区域尾水控制方案在经济、技术以及环境生态效益上最优。所以,基于应对水污染区域化趋势,“区域尾水”的概念应运而生,并成为区域水污染控制战略转型的开端。

首先要弄清“尾水”的概念。在国外,treated effluent<sup>[3]</sup>, treated wastewater<sup>[4]</sup>, treated sewage<sup>[5]</sup>, treated wastewater effluent<sup>[6]</sup>, treated sewage effluent<sup>[7-9]</sup>, treated domestic wastewater<sup>[10]</sup>等都是“尾水”的说法,其内涵基本一致,即经过一定处理的污水,主要是指通过污水系统收集并经污水处理厂处理后的城市生活及工业排水。wastewater 侧重指工业废水处理后的出水,而 sewage, domestic 侧重指城镇生活污水处理后的出水。在国内,“尾水”的概念,最早来源于水利学,它专用于相对“引水”而言的、水力发电后的出水水流<sup>[11]</sup>。邬扬善<sup>[12]</sup>在主张合理利用大水体自净能力以净化污水时,较早使用污水处理厂“尾水”的说法。徐建英等<sup>[13]</sup>在研究水环境流域整合整治时正式使用“尾水”这一概念。唐亮等<sup>[14]</sup>认为,“城市尾水”是以污水处理厂出水为主的城市混合污水的简称。

尾水处置是区域性的环境调控问题,必须立足区域层面,将城市、小城镇以及农村的尾水处置问题通过整合、集成,建立区域性的尾水处置工程系统。因而,“区域尾水”包括一个区域内虽经处理但尚未达到水环境标准的,以及未处理的工业、生活、农业(畜禽养殖)排水的混合体。它只是一个相对原污水而言的概念,其本身在不断发展。例如,在经济欠发达地区,由于点源控制及污水处理设施建设的滞后,区域尾水大多是只经过初级处理的出水,甚至包含大量未经任何处理的原污水;而在经济发达地区,区域尾水基本上都是经过较好处理(如污水二级处理厂处理、严格的工业点源控制)的出水,质量相对原污水已有较大改善。

## 2 国内外区域尾水控制研究

从国内外研究及实践来看,区域尾水治理的基

本策略大致可分为人工处理、尾水分流与生态处理3大类。

### 2.1 人工处理法

尾水的人工深度处理是在常规处理(一般为二级生物处理)之后,进一步采取人工方法,去除残留在污水中的污染物质,其中包括微生物未能降解的氮、磷、有机物及其他有毒有害物质,以满足更严格的排放标准或回用要求。人工深度处理通常采用的工艺有生物除氮脱磷法<sup>[15]</sup>,或混凝沉淀、过滤、吸附等一些物理化学方法<sup>[16-18]</sup>。这些种类繁多的人工深度处理方法,广泛应用于发达国家和地区的尾水处理实践,例如,德国的深度处理普及率达到48%,芬兰达到67%,瑞典达到88%<sup>[19]</sup>。莱茵河(Rhine)<sup>[20]</sup>、泰晤士河(Thames)<sup>[21]</sup>、瑞士苏黎世湖<sup>[1]</sup>等国外著名河流与湖泊都曾是依靠人工处理方式实现水质返清的成功案例。

在尾水人工深度处理的研究和尝试方面,我国目前还仅处在起步阶段,数量不多,规模较小,而且主要集中在我国北方地区,目的是为了实尾水回用,缓解城市供水危机。

从国内外的研究和实践来看,尾水人工处理的主要制约因素在于:

a. 工艺较为复杂。尾水人工处理基本上都属于就地控制,即强调在污染发生地解决尾水遗留的所有问题。尾水深度处理的工艺层出不穷、越来越多,如为了除磷,有生物除磷法<sup>[22]</sup>、物理-化学法<sup>[18]</sup>、生物脱氮法<sup>[23-24]</sup>、吹脱法、折点氯化法、选择性离子交换法等、膜过滤法<sup>[25]</sup>等多种方法。为除去有机物,有颗粒活性炭吸附、臭氧氧化法、膜过滤法等方法<sup>[26]</sup>。针对无机物,有离子交换法、电渗析、反渗透等方法<sup>[27]</sup>。随着人们对环境中多种污染物质性质认识的深入,要求进行深度处理的压力也必将越来越大。

b. 基建投资和运行费用高昂。尾水深度处理的基建与运行费用一般约为相同规模二级处理厂的2~3倍<sup>[28]</sup>,能源和物料消耗甚大,因此其发展和推广应用受到限制,较少大规模的使用,基本都限于发达国家和地区,发展中国家则普及率不高。例如,美国1972年用于污水人工处理的电耗占全国总发电量的1.8%,约占生产用电耗的20%,每年用于污染处理的能量相当于1亿桶原油<sup>[29]</sup>。在莱茵河流域高级污水处理厂的建设中,仅德国政府在20世纪70年代就耗资600亿马克<sup>[30]</sup>,人工除磷耗费达5万德国马克<sup>[28]</sup>,1995年德国居民单位用水所缴纳的污水处理费是一般用水费的3倍多<sup>[31]</sup>。

c. 微量有毒有机污染问题。通过尾水人工深

度处理对某些微量有毒有机物去除能力有限,出水就地排放或简单回用,仍具有潜在的危險。在尾水人工深度处理回用中,非饮用水的直接重复利用在美国和世界各国都是补充公众供水的主要方案选择<sup>[32]</sup>,但是利用城市尾水来补充饮用供水的不足,如果不是在极其紧急的情况下,一般不予考虑,或不被允许。在区域水污染控制中,莱茵河行动计划(RAP)确定了“优先治理的污染物质的清单”共45种,包括重金属如汞、铅、氮、磷和其他一些主要的有机物,要求在1995年达到50%~70%的消减率。作为世界上最大的淡水生态系统,五大湖地区常规的有机污染及磷等营养物质的控制已获成功,但在当前却面临着长效有机化学品和金属这两个最大的问题<sup>[20]</sup>。

可见,随着污染的蔓延,就地依靠人工处理办法,要真正实现水环境的长治久安,将是一个漫长而艰苦的历史过程,付出的精力和财力无疑也是巨大的。

## 2.2 尾水分流法

由于水污染问题日益复杂,即使对污水进行一定处理之后排放,排放点周边的水环境往往也已不堪重负。因此,为了保护重点湖泊、水库、河段,世界不少国家和地区常常将沿线尾水调离敏感水域,集中输送至自净能力更大的水体进行最终处置,将尾水分流处理或直接排江、排湖或排海,作为最终解决区域尾水污染问题的一条出路。伦敦泰晤士河<sup>[25]</sup>、瑞典 Norrviken 湖和美国华盛顿湖<sup>[1]</sup>、德国巴伐利亚湖<sup>[18]</sup>等湖泊都尝试过采用尾水分流来解决区域尾水的出路问题,并取得了一定的效果。但是尾水分流的方法,更多是用于城市尾水的处置,其中尤以美国东西海岸滨海城市的尾水排海规模最大,截至1990年,美国滨海城镇共建设有1400余座城市污水处理厂,每天产生的尾水总量达3750万m<sup>3</sup>,其中约85%的城镇尾水排入海湾、河口或海口,以保护城市河流或湖泊水质。

为了控制城市地区水环境质量的日益恶化,我国不少地区在城市环境综合整治中,也逐步研究开展了城市尾水(污水)的截流分流工作,实践表明,这些措施对迅速改善城市水环境质量具有明显成效。比如桂林市桂湖、榕湖、杉湖环境综合整治工程<sup>[33]</sup>、上海市的苏州河综合整治工程<sup>[34]</sup>、滇池水体富营养化治理<sup>[35]</sup>等都是尾水分流控制区域尾水的有益探索。

总结国内外的研究及实践,尾水分流是以严格保护敏感水体为决策目标的定位,在严格控制尾水排放影响范围,达到规定的环境标准,不影响受纳水域的水质目标、使用功能和生态平衡的前提下,采取科学的工程系统,利用大水体自净能力解决区域尾

水出路问题的一项工程技术措施。但单纯的尾水分流只是改变了污染的空间分布,其本身并没有实现污染物质的消除,而且在对受纳水体生态系统的潜在长期影响、尾水分流与城市水污染治理之间的环境与经济效益分析等方面有待深入研究。

## 2.3 生态处理法

尾水生态处理是依赖水、土壤、细菌、高等植物和阳光等基本自然要素,利用土壤-微生物-植物系统的自我调控机制和综合自净能力,完成尾水的深度处理,同时通过对尾水中水分和营养物的综合利用,实现尾水无害化和资源化再利用。尾水生态处理的主要类型包括稳定塘系统和土地处理系统,广泛应用于原污水、一级尾水处理,或尾水深度二级处理甚至三级处理的研究和实践。国外如澳大利亚墨尔本的生态工程(威里比农场,数据见表1)<sup>[22]</sup>、美国密执安州 Muskegon 县的尾水生态工程<sup>[29]</sup>、美国俄勒冈州 Cannon Beach 市的尾水湿地处理系统<sup>[36]</sup>等。国内如北京昌平卫星城的尾水芦苇湿地示范工程<sup>[37]</sup>、深圳白泥坑<sup>[38]</sup>、山东荣成城市尾水湿地处理一期工程<sup>[39]</sup>、江苏射阳利用黄海海涂处理造纸废水工程<sup>[40]</sup>等都是较早利用人工湿地处理城市尾水的典型案例。

表1 澳大利亚墨尔本威里比农场尾水净化性能数据

污染物名称	BOD	SS	N	P	Zn	Cu	Pb	Cr	Cd	Hg	Ni
去除率/%	99	98	95	95	95	95	95	90	85	85	75

尾水生态处理的特点主要有:

a. 净化效率较高。从大量研究和实践来看,尾水生态处理的净化效率较高、运行效果稳定,处理原污水的效果通常优于常规二级处理,处理污水处理厂尾水的效果可以达到三级深度处理水平,甚至化污为清,达到地表水水质标准<sup>[29]</sup>,这在荷兰、澳大利亚等国的示范研究中也基本得到证实<sup>[3]</sup>。值得指出的是,所有的生态系统对多种有机化学品,如多氯联苯、氯苯、萘等优先控制污染物的净化效果都相当显著(表2)<sup>[18, 22, 41]</sup>。

表2 几种主要的生态处理工艺与人工深度处理技术的净化效果比较

污染物名称	处理技术的净化效果比较				%
	慢速渗滤(SR)	快速渗滤(RI)	地表漫流(OF)	人工深度处理	
生化需氧量	80~99	85~99	>92	>95	
化学需氧量	80~95	>50	>80	>80	
悬浮物	80~99	>98	>92	>94	
总磷	80~99	60~99	40~80	80~97	
总氮	80~99	0~80	70~90	20~40	
微生物	90~95	>98	>98	>98	
重金属	>95	50~95	>50	40~89	
有机化学品	>99	>96	>88	>85	

b. 基建及运行费用较低,有一定综合效益。生态工程充分利用区域内的废地、荒地、低产坡地或坑、塘、洼、淀、滩涂等生态用地,基建投资省,运行费用低,其基建投资一般为人工深度处理的10%~20%,而单位运行费用仅为5%~10%。例如,墨尔本尾水生态工程,用于购地和基建投资约1亿澳元,运行费0.024澳元/m<sup>3</sup>[31]。同时,尾水生态工程系统管理方便、运行可靠,只要不超过系统的容纳、缓冲和净化能力,可保证常年、终年运行。而且,生态工程的基本思想是尾水净化与资源化相结合,尾水中水资源与养分资源的合理利用,有助于场地中林、竹、草等非食品性植物的生长,通过高效、良性的生态循环系统的建立,可带来较高的经济效益。

### 3 区域尾水控制模式

大量研究和实践表明,人工处理、调度分流、生态处理都是尾水处理可选择的方法,但三者具有不同的特点和适用范围。而污水中污染成分日趋复杂,污染物数量正日益增多,用单一的方法对水污染进行控制,无论在经济上还是技术上都已经远远不够,难以从根本上解决水污染问题。必须建立从整体出发,自点源→城市→区域立体层面,多管齐下,综合控制的模式。从社会、自然、技术、经济和环境等层面综合考虑,将区域尾水调离敏感区域,易地选址进行集中生态处理,将是根治区域尾水的战略选择之一。

按水污染控制的工作程序和污水处理的实际情况,可建立系统契合、全过程的区域尾水控制的“三级控制、三级标准”的完整模式(图1)[13-14,31]。其中,第一级,源头控制,最大程度预防和减少污染的发生与排放,该级工业废水要达到城市污水管网的接管标准;第二级,城镇污水与经达标预处理的工业废水排入城市污水处理厂进行集中处理,要满足污水处理厂的出水标准;第三级,对虽经处理但尚未达到水环境标准的区域尾水进行深度处理(或处置),达到(或接近)环境标准(或相应回用水标准)后排入

相应受纳水体(或回用)。在此过程中,总量控制分三级实施,水质标准分三级衔接。

### 4 小结

我国目前经济能力有限,而污染负荷较重的基本国情,决定了我国难以依靠人工处理技术根治区域尾水问题。我国区域尾水实际上含有大量未经处理的原污水,通过尾水调度与生态工程相结合,一方面可以通过尾水调度系统,截断敏感水体的入流负荷,防止污染加重,迅速实现环境目标;另一方面也有利于易地择址建设生态工程,实现区域尾水廉价高效的二级和三级深度处理。建立尾水小系统,保护清水大系统,是我国实现区域尾水处置的战略转变,保障水环境长治久安的有效途径之一。

#### 参考文献:

- [1] MISTSURU S. Eutrophication [C] / K BISWAS A. Water resources: environmental planning, management, and development. New York: The McGraw-Hill Companies, 1996: 297-380.
- [2] SOMLYÓDY L, BRUNNER P H, KROIBH. Nutrient balances for Danube counties: a strategic analysis [J]. Wat Sci Tech, 1999, 40(10): 9-16.
- [3] JOE G, JIM H. Water in the Tucson area: Seeking sustainability [C]. University of Arizona, 1999: 17-19.
- [4] SCHOPPMANN B. Reuse of treated wastewater: a case study in Perth [J]. Desalination, 1996, 106(1-3): 225-231.
- [5] SZYMANSKI A, LUKASZEWSKI Z. Initial separation and preservation for long-term storage of non-ionic surfactants from raw and treated sewage [J]. Wat Res, 2000, 34(14): 3635-3639.
- [6] AIBAN S A, ISHAQ A M. Utilization of local material in the construction of an embankment for recharging groundwater aquifer with treated wastewater effluents [J]. Wat Sci and Tech, 1999, 40(7): 25-32.
- [7] THOMAS P R, GLOVER P. An evaluation of pollutant removal from secondary treated sewage effluent using a constructed wetland system [J]. Wat Sci and Tech, 1995, 33(3): 87-93.
- [8] BANDUPALA W, RALPH B K, CRISTOPHER J D. Reuse of treated sewage effluent for cooling water make up: a feasibility study and a pilot plant study [J]. Wat Sci Tech, 1996, 33(10-11): 363-369.
- [9] BELLGROVE A, CLAYTON M N, QUINN G P. Effects of secondarily treated sewage effluent on intertidal macroalgal recruitment processes [J]. Oceanographic Literature Review, 1997, 44(9): 1059.
- [10] DEWETTINCK T, VAN H K. The electronic nose as a rapid sensor for volatile compounds in treated domestic wastewater

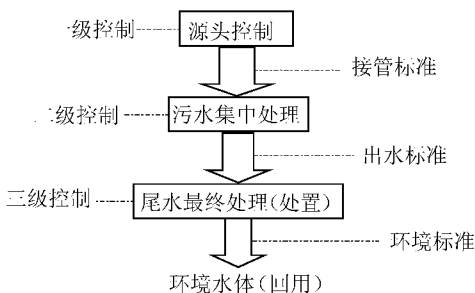


图1 区域尾水控制的“三级控制、三级标准”模式

- [ J ]. Wat Res 2001 ,35( 10 ) 2475-2483.
- [ 11 ] 中国大百科全书总编辑委员会《水利学》编辑委员会. 中国大百科全书·水利学[ M ]. 北京 : 中国大百科全书出版社 ,1983.
- [ 12 ] 邬扬善. 城市污水处理——投资与决策[ M ]. 北京 : 中国环境科学出版社 ,1992.
- [ 13 ] 徐建英 , 唐亮. 常州新区水污染控制规划研究[ M ]. 重庆环境科学 ,2001 23( 4 ) 5-7 ,15.
- [ 14 ] 唐亮 , 左玉辉. 广州市城市水污染控制方案[ J ]. 给水排水 ,2002 28( 11 ) 27-30.
- [ 15 ] LEE D S , JEON C O , PARK J M. Biological nitrogen removal with enhanced phosphate uptake in a sequencing batch reactor using single sludge system[ J ]. Water Res 2001 ,35( 16 ) 3968-3976.
- [ 16 ] ROTHMAN M , HULTGREN J. Possibilities for increased nutrient removal with a final filtration stage[ J ]. Wat Sci Tech ,1996 33( 12 ) :147-153.
- [ 17 ] CLARK T , STEPHENSON T. Development of a jar testing protocol for chemical phosphorus removal in activated sludge using statistical experimental design[ J ]. Wat Res ,1999 ,33( 7 ) :1730-1734.
- [ 18 ] DONNERT D , SALECKER M. Elimination of phosphorus from municipal and industrial waste water[ J ]. Water Sci Tech , 1999 40( 4-5 ) :195-202.
- [ 19 ] 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.
- [ 20 ] JULIE S. 水危机——寻找解决淡水污染的方案[ M ]. 张康生等译. 北京 : 科学出版社 ,2000.
- [ 21 ] GARIS Y D. 泰晤士河下游水环境治理. 中英流域水资源综合管理研讨会会议[ EB/OL ]. <http://www.chinawater.net.cn/cwsnet/szyzhgl/c6.doc>. 2002.
- [ 22 ] NAM H U , LEE J H , KIM C W , et al. Enhanced biological nutrients removal using the combined fixed-film reactor with bypass flow[ J ]. Wat Res 2000 ,34( 5 ) :1570-1576.
- [ 23 ] WITTGREN H B , TOBIASON S. Nitrogen removal from pretreated wastewater in surface flow wetlands[ J ]. Wat Sci Tech ,1995 32( 3 ) 69-78.
- [ 24 ] EKAMA G A , WENTZEL M C. Denitrification kinetics in biological N and P removal activated sludge systems treating municipal wastewater[ J ]. Wat Sci Tech ,1999 39( 6 ) 69-77.
- [ 25 ] AGUILAR M I , SÁEZ J , LLORÉNS M , et al. Nutrient removal and sludge production in the coagulation—flocculation process[ J ]. Wat Res 2002 36( 11 ) 2910-2919.
- [ 26 ] DURANCEAU S J. The future of membranes[ J ]. JAWWA , 2000 92( 2 ) :70-71.
- [ 27 ] 中国大百科全书总编辑委员会《环境科学》编辑委员会. 中国大百科全书·环境科学[ M ]. 北京 : 中国大百科全书出版社 ,1983.
- [ 28 ] 张忠祥 , 钱易. 城市可持续发展与水污染防治对策[ M ]. 北京 : 中国建筑工业出版社 ,1998.
- [ 29 ] 左玉辉. 环境系统工程导论[ M ]. 南京 : 南京大学出版社 ,1985.
- [ 30 ] 皮尔斯 F , 胡秀平. 挽救莱茵河绿皮书[ J ]. 地理译报 , 1994 ,13( 2 ) 53-56.
- [ 31 ] 刘仲桂. 德国、法国、荷兰水资源保护与管理概况[ J ]. 人民珠江 ,2002( 3 ) 4-6.
- [ 32 ] TAKASHI A. Wastewater reuse[ C ]//BISWAS A K. Water resources : environmental planning , management , and development. New York :The McGraw-Hill Companies ,1996.
- [ 33 ] 黎运芬. 桂林中心城市环境水利规划[ J ]. 水利发展研究 ,2002 2( 11 ) 58-60.
- [ 34 ] 上海市苏州河综合整治建设有限公司. 上海石洞口城市污水处理厂工程简介[ EB/OL ]. <http://www.envir.gov.cn/cect/2000-2-03.htm>.
- [ 35 ] 连芳 , 张帆然. 滇池截污治污是重点[ N ]. 云南日报 , 2001-09-13( 4 ).
- [ 36 ] MICHAEL B C , ROBERT H W. A natural system for wastewater reclamation and resource enhancement[ EB/OL ]. <http://www.epa.gov/owow/wetlands/construct/arcata.htm>. 1993.
- [ 37 ] 杨敦 , 周埃. 人工湿地脱氮技术的机理及应用[ J ]. 中国给水排水 ,2003 ,19( 1 ) 23-24.
- [ 38 ] 陈韞真 , 叶纪良. 深圳白泥坑、雁田人工湿地污水处理场[ J ]. 电力环境保护 ,1996 ,12( 1 ) 47-51.
- [ 39 ] 王燕飞. 水污染控制技术[ M ]. 北京 : 化学工业出版社 , 2001.
- [ 40 ] 王庆九 , 唐亮 , 柏益尧 , 等. 造纸废水处理人工湿地系统规划研究[ J ]. 重庆环境科学 ,2003 25( 1 ) 28-31.
- [ 41 ] 高拯民 , 李宪法. 城市污水土地处理利用设计手册[ M ]. 北京 : 中国标准出版社 ,1991.

( 收稿日期 2005-09-20 编辑 徐 娟 )

( 上接第 70 页 )

- [ 3 ] 魏复盛 , 齐文启 , 孙宗光 , 等. 水和废水监测分析方法[ M ]. 北京 : 中国环境科学出版社 ,2002 210-213.
- [ 4 ] 闵怀 , 傅亮 , 陈泽军. Fenton 法及其在废水处理中的应用研究[ J ]. 环境污染与防治 ,2004 26( 1 ) 28-30.
- [ 5 ] TANG W Z , CHEN R Z. Decolorization kinetics and mechanism of commercial dyes by H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/iron powder dersystem[ J ]. Chem. Sphere ,1996 32( 5 ) 947-958.
- [ 6 ] 侯毓汾 , 朱振华. 染料化学[ M ], 北京 : 化学工业出版社 , 1994 :178.

( 收稿日期 2005-04-04 编辑 徐 娟 )