

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第34卷 第1期 Vol.34 No.1 **2014**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 34 卷 第 1 期 2014 年 1 月 (半月刊)

目次

卷首语: 复杂与永续..... (I)

前沿理论与学科综述

城市复合生态及生态空间管理 王如松, 李 锋, 韩宝龙, 等 (1)

海洋生态系统固碳能力估算方法研究进展 石洪华, 王晓丽, 郑 伟, 等 (12)

城市生态系统灵敏度模型评述 姚 亮, 王如松, 尹 科, 等 (23)

城市生活垃圾代谢的研究进展..... 周传斌, 徐琬莹, 曹爱新 (33)

个体与基础生态

胶州湾生物-物理耦合模型参数灵敏度分析 石洪华, 沈程程, 李 芬, 等 (41)

渤海湾大型底栖动物调查及与环境因子的相关性 周 然, 覃雪波, 彭士涛, 等 (50)

生物扰动对沉积物中污染物环境行为的影响研究进展 覃雪波, 孙红文, 彭士涛, 等 (59)

种群、群落和生态系统

密云水库上游流域生态系统服务功能空间特征及其与居民福祉的关系 ... 王大尚, 李屹峰, 郑 华, 等 (70)

长岛自然保护区生态系统维护的条件价值评估 郑 伟, 沈程程, 乔明阳, 等 (82)

海岛陆地生态系统固碳估算方法 王晓丽, 王 媛, 石洪华, 等 (88)

景观、区域和全球生态

区域生态文明建设水平综合评估指标 刘某承, 苏 宁, 伦 飞, 等 (97)

基于生境质量和生态响应的莱州湾生态环境质量评价 杨建强, 朱永贵, 宋文鹏, 等 (105)

1985 年以来黄河三角洲孤东海岸演变与生态损益分析 刘大海, 陈小英, 徐 伟, 等 (115)

基于复合生态系统理论的海洋生态监控区区划指标框架研究 徐惠民, 丁德文, 石洪华, 等 (122)

我国环境功能评价与区划方案 王金南, 许开鹏, 迟妍妍, 等 (129)

资源与产业生态

生态产业园的复合生态效率及评价指标体系 刘晶茹, 吕 彬, 张 娜, 等 (136)

我国农业生态效率的时空差异..... 程翠云, 任景明, 王如松 (142)

内蒙古半干旱生态脆弱矿区生态修复耦合机理与产业模式 陈玉碧, 黄锦楼, 徐华清, 等 (149)

基于物质流分析方法的生态海岛建设研究——以长海县为例 陈东景, 郑 伟, 郭惠丽, 等 (154)

再生(污)水灌溉生态风险与可持续利用 陈卫平, 吕斯丹, 张炜铃, 等 (163)

基于流域单元的海湾农业非点源污染负荷估算——以莱州湾为例..... 麻德明, 石洪华, 丰爱平 (173)

集约用海对海洋生态环境影响的评价方法 罗先香,朱永贵,张龙军,等 (182)

城乡与社会生态

基于生态系统服务的城市生态基础设施:现状、问题与展望..... 李 锋,王如松,赵 丹 (190)

北京城区道路系统路网空间特征及其与 LST 和 NDVI 的相关性 郭 振,胡 聃,李元征,等 (201)

基于复合生态功能的城市土地共轭生态管理 尹 科,王如松,姚 亮,等 (210)

重庆市森林生态系统服务功能价值评估 肖 强,肖 洋,欧阳志云,等 (216)

渤海湾港口生态风险评估 彭士涛,覃雪波,周 然,等 (224)

达标污水离岸排海末端处置技术研究综述 彭士涛,王心海 (231)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 238 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 28 * 2014-01



封面图说: 北京奥林匹克公园——在高楼林立的大城市中,办公楼、居民区、学校、路网系统、公园以及各种水泥、沥青硬路面和树木、绿草地、土面、水面等等组成了复杂多样的城市生态景观,居住着密集的人口并由于人们不断的、强烈的干预,使这个城市生态系统显得尤其复杂而又多变。因此,系统复杂性及灵敏度是困扰城市生态系统研究和管理的重要因素,建立灵敏度模型是致力于解决城市规划管理中的复杂性问题的有效方法,网状思维与生物控制论观是其核心,也是灵敏度模型的思想基础。图为北京中轴线北端被高楼簇拥着的奥林匹克公园的仰山和龙型水系。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201305020902

彭士涛, 王心海. 达标污水离岸排海末端处置技术研究综述. 生态学报, 2014, 34(1): 231-237.

Peng S T, Wang X H. Research review of the tail disposal technology of the standard sewage offshore outfall. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(1): 231-237.

达标污水离岸排海末端处置技术研究综述

彭士涛^{1,2,*}, 王心海¹

(1. 交通运输部天津水运工程科学研究所, 天津 300456; 2. 国家海洋局第一海洋研究所, 青岛 266061)

摘要: 达标污水离岸排海处置具有低成本、高处理率等优点, 是国内外沿海港口和临港工业园区进行污水处理的重要选择。介绍了国内外达标污水离岸排海末端处置技术的发展情况, 分析了排污口位置选划、扩散器射流参数及水力结构优化等研究技术上存在的问题。认为排污口位置选划应在水动力、污染物扩散、泥沙冲淤及工程经济因素分析的基础上, 还需要重点考虑污水排放对区域生态要素长期的影响; 排海末端扩散器射流参数及水力结构优化也尤为关键, 不仅直接影响稀释扩散效果, 而且涉及到主管、上升管、喷口等多个可控因子, 可以采用建立物理模型、数值模型及量纲分析等方法, 合理优化扩散器的结构参数和扩散器的型式, 对提高达标污水离岸处置的效果具有重要意义。

关键词: 达标污水; 离岸排海; 扩散器; 位置选划; 喷口射流; 水力结构

Research review of the tail disposal technology of the standard sewage offshore outfall

PENG Shitao^{1,2,*}, WANG Xinhai¹

1 Tianjin Research Institute for Water Transport Engineering, Tianjin 300456, China

2 The First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Qingdao 266061, China

Abstract: Water pollution has become an important factor which impacts the national economic development. In order to reduce the pollution, many technologies have been used. Sewage offshore outfall is one of effective technology in reduction the water pollution. This technology is that the sewage was discharged into marine by the pipeline system, and thus the concentration of pollutants in water was dilution. Sewage offshore outfall have been become an important waste water treatment in the coast cities due to many advantages of low-cost and high processing rates. In the present study, we reviewed the development of the technology of the sewage offshore outfall, including the outfall location selection, the jet parameter optimization, and the hydraulic structures optimization. For the outfall location selection, the best selection is including both the qualitatively and quantitatively choosing. The qualitatively choosing was mainly to select the suitable area to offshore outfall based on the regional planning, hydrodynamic conditions, coastal terrain features, the distribution of marine resources and water quality conditions. Based on the qualitatively choosing, the further selection is the quantitatively choosing. Such selection is correlated to the movement of sewage pollutants, envelope size and particle trajectories, which is studied by founding numerical and physical model, such as near-zone, far-zone, overall-zone convection-diffusion diffuser model and particle tracking model. Particularly, overall-zone composited diffuser model can simulate the dilution and dispersion law fully and truly, because it can simultaneously predict turbulent jet and transport diffusion. Meanwhile, the outfall location selection should be considered the sediment deposition and the long-term cumulative effects of ecological elements. It is very important to optimize the jet parameter and the hydraulic structures. This optimization can increase the

基金项目: 海洋公益性行业科研专项资助项目(201305003)

收稿日期: 2013-05-02; 修订日期: 2013-09-22

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: pengshitaotj@126.com

dilution of sewage, improve the discharge uniformity of the nozzle, and thus ensure the proper and efficient operation of the offshore outfall. In general, jet parameter optimization is mainly to design the jet numbers, jet angle, horizontal angle of the diffuser nozzle based on analyzing dilution and dispersion law of the buoyant jet, mechanism of the cross-flow and turbulence jet. Hydraulic parameter optimization is mainly to design the diameter and length of main pipe, riser and nozzle via analyzing flow and pressure of diffuser pipe, the discharge uniformity of the nozzle, loss along the pipe and partial loss, seawater intrusion laws. Through there are many progress in the sewage offshore outfall technology, large of problems are necessary to overcome, for example, how to reduce the ecological impact on the outfall location selection, the sediment invasion, and so on. Such work is significant to improve the effect of sewage offshore outfall technology in the future.

Key Words: standard sewage; offshore outfall; diffuser; selection of the outfall location; nozzle jet; hydrodynamic structure

根据 2010 年全国环境统计公报^[1],我国“十一五”污水排放量已达到 617 亿 t,预计到“十二五”末污水排放量将超过 700 亿 t,这意味着我国将有大量污水进入自然水域,严重影响水资源环境,污水的出路问题已成为制约国家经济发展的重要因素。达标污水采用离岸排海,通过放流系统排放到离岸较远的海域,一方面利用海洋强大而丰富的物理、化学和生物能力稀释净化,弥补了陆域污水处理投资大、占地多、运行费用高等的不足,大量工程应用表明离岸排海比二级处理厂费用降低将近一半;另一方面,通过污水排海口位置、扩散器射流参数及结构的优化,污水排海的初始稀释度可达到 100 倍左右,相比二级处理厂的稀释倍数将近增加了 10 倍,而且排海后污染物被快速带离海岸,对周边海岸的环境影响较小,具有低成本、高处理率等优点。

达标污水离岸排海处置技术研究最早可追溯到 19 世纪末英国的 Harwich 污水排海工程,经历了从污水不进行处理到污水进行一级、二级预处理后排放,直到现在广泛采用的从近海延伸到深海可以满足一级处理深海排放的处置技术^[2]。国内沿海城市也有采用,但相关研究起步较晚,对于直接关系到污水排海后的稀释扩散输移效果的末端排放口位置选划、扩散器射流参数及水力结构优化的研究报道的相对较少,且目前国内还没有扩散器设计的规范可以参考,制约了污水离岸处置工程技术的发展与应用^[3-4]。针对现状,文中对国内外达标污水离岸排海口位置选划、扩散器射流参数及水力结构优化等技术的研究方法及存在问题进行了分析,便于后续研究的参考。

1 排污口位置选划

排污口位置选划是离岸排海末端处置的起步工程,直接决定着排海处置效果、工程安全性、经济性等。目前,排污口位置选划采用先定性选划后定量研究,主要采用建立海域水动力模型、污染物输移扩散模型、质点追踪模型、泥沙场模型等数值模型和物理模型的方法^[2-18]。早期主要采用 ROBERTS、BROOKS 等经验公式预测近区稀释度和海域输移扩散的方法进行排污口位置选划,由于公式预测精度不足,目前已很少使用^[2]。Blumberg^[5]首次采用远区环流数值模型对污水排海稀释度进行了模拟,该数值模型较多用于海域流场和污染物输移扩散的研究,用于羽流的研究还需进一步论证。Etemadshahidi^[6]采用 CORMIX2 和 VISJET 模型对排海羽流的上升高度和稀释度进行了模拟,这些特征参数的确定可以为排污口位置确定提供依据。Li 等^[7-9]通过采用近远区复合模型模拟了污水排海的稀释扩散,预测了污水排海的输移扩散和羽流紊动稀释,这将是污染物稀释扩散研究的重要方向。孙长青等^[10-11]考虑到公式选划的局限性,首次通过建立水质二维扩散预测模型及拉格朗日余流模型,对污染物输移扩散、浓度变化及质点跟踪进行了研究,预测了污染物影响包络面积和质点迁移,并提出先定性后定量的方法,大大节约了人力物力投入,对后续研究起到重要的指导作用。赵俊杰^[12]采用 MIKE 软件的潮流模型和水动力模型模拟分析入海 COD 的稀释扩散浓度分布并综合考虑工程施工和经济性等进行排污口位置选划。侯珊^[13]针对二维模型难以很好适应大水深的表层底层流速相差大的问题,提出

采用三维水动力和水质模型更好的模拟了污水排海不同水深的输移扩散规律。宋强等^[14-15]通过研究过渡区模拟方法,尝试将近区喷口射流模拟模型嵌入远区扩散模型,形成全场数学模型,更真实的反应污水排海的稀释变化,但后续相关研究较少,嵌入方法还有待深入研究。杨树森等^[16]鉴于排海工程应用中经常发生喷口淤埋导致排污不正常运行问题,通过建立泥沙数学模型选取地形稳定、冲刷变化小排污口,为选取稳定安全的排污口提供了重要依据。

前人采用先定性后定量的方法,从单一的远区污染物输移扩散模拟到综合近远区的全场模拟,甚至到考虑排污口安全稳定出发的泥沙冲淤研究,但是这些研究多是就某个方面的分析,笔者^[17-18]通过对区域功能符合性、海域稀释扩散、泥沙冲淤、生态环境影响、管道工程技术经济等多因素综合分析,选取了更加符合区域发展需求和环境安全要求的排污口。由此,综合考虑水动力、迁移轨迹、稀释扩散、泥沙冲淤,环境区域符合性,生态影响,工程经济性等多个角度多方面的因素分析方法是今后排污口科学选划的趋势。

但总体而言,目前排污口选划还存在以下问题需要解决:一是排污口选划多以海域水动力条件和稀释扩散预测为主,而实际还与生态敏感区等区域规划、工程冲刷稳定和运行投资密切相关,应综合加以考虑;二是选划多以物理过程模拟为主,而实际中污水排放经过几个潮周后已经被完全稀释扩散,此后的生物作用显得更为重要,应分析污水对水域生物造成的影响,并重点分析长期排污可能产生的生物累积效应;三是现有排海限制指标要求少,只对初始稀释度、混合区面积、水深做了简单的要求,与实际排海工程有较大差别,急需结合污水的排放量和类别制定相应的规范和标准,指导离岸排海工程的健康发展。

2 扩散器射流参数优化

离岸排海末端扩散器射流结构决定着扩散器百米区域的紊动稀释和高浓度场的存在与否,是排海处置工程实现环保达标排放的保障。扩散器射流参数主要有扩散管长度、上升管个数、间距、喷口角度、喷口型式等,通过优化这些参数可使初始稀释倍数达到几百倍,对污水排海工程建设的成败起着决定

性作用。目前,对于扩散器射流参数优化主要采用经验公式、物理模型试验、射流数值模拟、量纲分析以及基础理论分析相结合的研究方法^[2-4,19-35]。扩散器射流参数优化早期多以经验公式为主,采用ROBERTS等稀释度预测经验公式,提出了影响扩散器长度的排放量、稀释度、水深、水动力等主要因素,推出扩散器长度和起始稀释度的经验公式,在初期扩散器射流结构简易设计中应用较多^[2-4]。Duer Michael^[19]通过物理模型研究了鸭嘴阀稀释特性,并发现扩散器通过使用鸭嘴阀能取得更好的稀释效果,保证了鸭嘴阀在扩散器应用中的可行性。Wang^[20]采用 DPIV 和 PLIF 技术进行了扩散器周边区域的浓度场测量分析,得到了浮射流的稀释度,为浮射流研究提供了重要的研究手段。Tian 等^[21-23]通过建立扩散器物理模型,采用 3DLIF 装置获取了扩散器排入密度均匀流、密度分层流海域后的污染物稀释扩散图像,并通过图像数据处理取得了稀释度,该方法成为了近区扩散器射流研究的重要方法。Lai 等^[24-25]采用水槽试验和 VISJET 数值模型对新型的玫瑰型扩散器的射流扩散稀释特性进行了研究。Patalano^[26]采用 ADV 物理测量技术和 Delft3D 数值模型研究了扩散器羽流的混合和稀释度特性。徐高田等^[27-28]通过物理模型试验结合量纲分析方法得出半理论半经验公式,比纯经验公式有了进步,并初步揭示了环境横流和喷口射流相互作用机理,对扩散器结构优化具有一定指导意义。唐洪武等^[29]运用超声流速仪对鸭嘴阀射流特性进行了系列试验研究,并发现鸭嘴阀射流近区紊动强度明显高于圆射流,有利于达标污水稀释扩散,为鸭嘴阀在离岸排海的应用上提供了基础。周连伟等^[30]将远区水动力结果引入 UM 模型和 JETLAG3 模型计算初始稀释度,对扩散器参数进行优化,具有一定的实用性,但数模仍难以真实模拟环境射流稀释状况。方神光^[31]提出了静水中有阻力的浮力射流,贴壁浮力射流,单孔卷吸设置,射流预稀释装置等增加扩散器稀释度的若干措施,为扩散器改进提供了理论基础,研究发现通过阻力装置能成倍提高稀释度,尤其能改善表层的污水场状况。高柱^[32]采用 FLUENT 软件建立的同向流动环境中的椭圆射流数学模型和 LDV 技术量测射流速度场的方法,对扩散器排海浮射流进行了研究和验证。肖洋^[33-34]除了采用 FLUENT 数

模和 LDV 技术,还采用 PIV 测速技术对射流进行了研究,对横向流动条件下多孔水平动量射流的浓度场、速度场、涡量场和压强场的特性进行了较为全面的研究。

由于多孔扩散器深海排放稀释扩散非常复杂,受到排污条件、环境条件和扩散器参数等多种因素的影响,因此,只依据经验公式或数学模拟还很难真正解决,物理模型仍然是最重要的研究方法,笔者^[18,35]鉴于扩散器长度设计主要依赖经验公式的现状,在大量水槽试验研究的基础上,提出了数模物模相结合确定扩散器长度的方法,较为准确的提出了扩散器的有效长度,取得了很好的效果,图 1 为天津某排海工程通过三维数值模拟的带有 10、20 个和 30 个扩散器上升管方案的污染物表层浓度分布,图中明显看到 10、20、30 个方案的表层最大污染物浓度

分别为 0.0098、0.0083 mg/L 和 0.006 mg/L,10 个方案明显存在高于临界浓度 0.0083 mg/L 的深色超标区域,不能满足扩散器排污表层稀释浓度要求,20 个方案介于临界浓度 0.0083 mg/L 之中,30 个方案明显小于临界浓度 0.0083 mg/L,鉴于上升管建设的高投资问题,通过建立水槽物理模型试验模拟 10 个和 20 个方案浮射流作用下的扩散器排污浓度分布,并用分光光度计进行了近区浓度测量,发现 10 个方案仍存在大于 0.0083 mg/L 的超标浓度,20 个方案的超标浓度消失,且最大浓度仅为 0.0071 mg/L,综合考虑,认为扩散器采用 20 个上升管方案可以满足环保要求。水质数值模拟和水槽物理模型相结合的方法可以进一步优化了扩散器的射流结构,并确保研究结论的准确性。

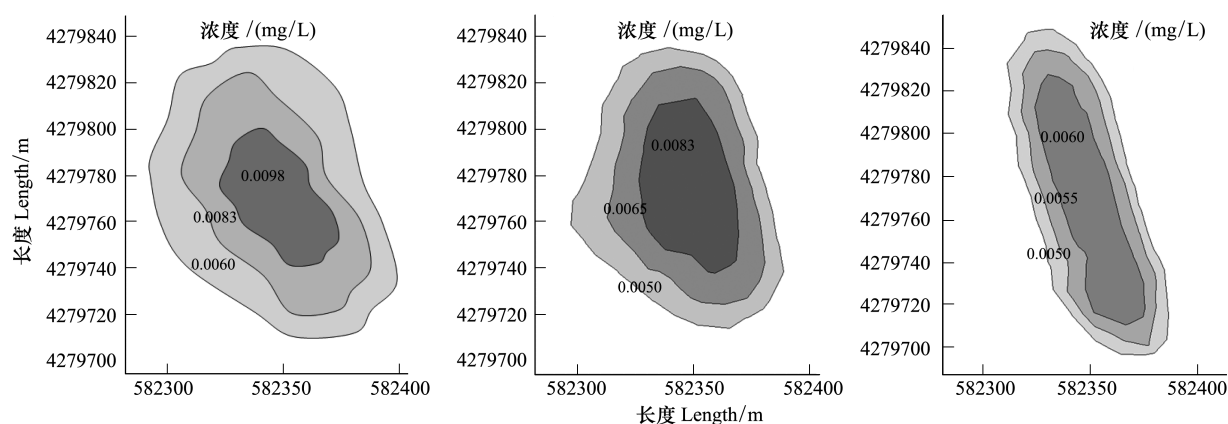


图 1 三维数值模拟污染物表层浓度分布

Fig.1 the surface concentration field of pollutants by three-dimensional numerical simulation

总之,对于扩散器长度、上升管间距、喷口角度等已有一些研究成果,但这些成果多针对某个工程进行,不具有普遍性,没有形成相应的规范 and 标准,不利于很好的推广;此外,扩散器经历了由单孔排放到设置多个出口,再到设置上升管及多个喷口,每一步改进都使污水离岸排海处理效果大幅度提高,海域环境得到更好的保护利用,但目前对于工程较多采用的多喷口型式的射流理论研究相对尚少,需要相关的研究为工程建设提供更多的技术支持。

3 扩散器水力结构优化

离岸排海扩散器水力结构是整个排海工程正常运行的关键。随着排海工程的大规模应用,排放量和排污口水深的要求也越来越大,扩散器出现喷口

出流不均匀甚至部分管道没有出流、泥沙生物入侵管道并在管道内沉积严重等现象,都可能导致排海工程运行差甚至无法运行。扩散器水力结构优化主要通过对复杂管道的管径设计和添加附加设置,使得污水能在各个出口均匀出流,同时避免海水倒灌和泥沙生物入侵现象的发生,为污水排海提供稳定可行的运行环境。主要包括两方面内容:一是扩散器流量分配的设计,实现流量按扩散器具体工程要求进行沿程分配,使污水排出后与受纳水体进行最大程度的掺混稀释;二是海水泥沙入侵的防止及清除设计,海水密度高于污水密度,极易发生海水倒灌扩散器系统,严重影响扩散器排放量,腐蚀排海管道内壁,同时携带的泥沙还会造成扩散器内泥沙长期淤积,发生扩散器堵塞。这些问题的解决需要了解

扩散器的内部水流运动规律,并对影响因素有深刻的理解,才能实现扩散器水力结构的针对性设计。

扩散器水力结构优化中管道流量分配水力参数已有较多的研究报道^[2-4,36-42]。Bleninger 等^[36-39]通过采用 CFD 软件模拟了扩散器内部流场和压力场,得出了扩散器的出口流量分布均匀度、水头损失以及局部阻力系数等。赖翼峰等^[40-42]采用出流系数法和动压头法两种水力方法进行了末端处置扩散器的流场计算,并通过物理模型试验验证,这是扩散器流量分配水力设计的主要方法。

目前,笔者^[18]采用 FLUNENT 软件建立扩散器管道水力模型,并通过物理模型验证得出很好的模拟结果,FLUNENT 软件的应用也大大提高了流量分配设计便捷性和准确性。图 2 为天津某排海工程数值模拟扩散器管内流速分布图,图中可见最大流速出现在扩散器喷口处,其流速为 3 m/s 左右,主管内流速为 2 m/s 左右,满足扩散器喷口和主管流速的要求,通过数值模型进行扩散器水力结构方案比选,能有效减少物理模型的试验方案。在此基础上,通过建立扩散器管道水力物理模型,采用体积流量测量法和测压管法分别得到了喷口的流量,计算得到了扩散器的阻力系数和管道流速,发现数值模拟和物理模拟的误差为 1%—5%,进一步验证细化了数值模拟结果,说明数模和物理模型相结合的方法可有效的用于扩散器结构优化。

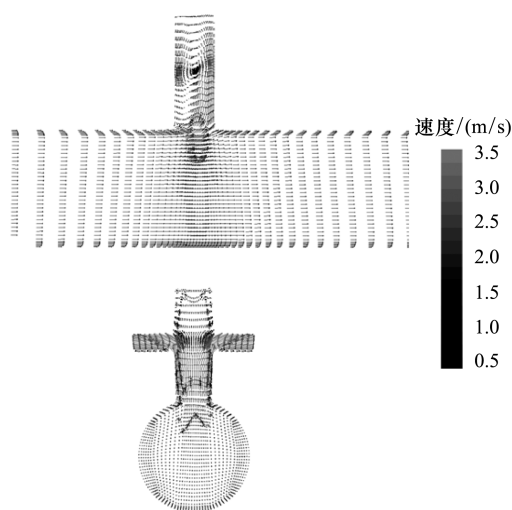


图 2 数值模拟的扩散器速度流场分布图

Fig.2 Velocity field of the diffuser by FLUENT numerical simulation

曾小清^[43]针对排海工程经常在非设计工况下

运行易发生海水入侵的问题,提出了海水入侵冲洗的临界水力特点和辨别式,为非设计条件的运行管理提供依据。刘成等^[44]对排海工程泥沙入侵问题进行了系统研究,提出了改进尾部和定期冲洗来降低改善淤积的措施,并提出临界入侵、冲洗密度数公式,并提出在控制密度傅汝德数的同时增设文丘里管和安装鸭嘴阀等改进措施,很好的改善了海水泥沙入侵的问题。钱达仁等^[45-46]研究了波浪对管道出流的影响,发现小流量时管道出流明显受波浪影响,极易发生海水入侵,应引起后续研究的重视。综上,海水泥沙入侵扩散器的主要因素是密度差大和波浪变化,防止措施主要是通过优化喷口参数增大傅汝德数来防止扩散器入侵,同时喷口采用安装鸭嘴阀也能较好的解决扩散器入侵问题。

目前研究中,扩散器水力参数优化还存在着海水泥沙入侵机理及泥沙入侵清除技术不够完善,这是对于扩散器大量推广应用的一个重要制约因素,有待深入研究。

4 结论

通过阐述国内外离岸排污口位置选划、扩散器射流参数及水力结构优化等技术的发展现状,分析了达标污水离岸排海末端处置技术中存在的问题及相应的解决方法:

(1) 离岸排海扩散器位置选划作为排海的起始工程,决定着整个工程的成败。综合考虑水动力、迁移轨迹、稀释扩散、泥沙冲淤,环境区域符合性,生态影响,工程经济性等多个角度多方面的因素分析方法是今后排污口科学选划的趋势。而污水对生物影响的累积效应的研究是今后需要不断丰富和突破的研究内容。

(2) 扩散器射流参数优化对离岸排海工程建设至关重要,需要通过扩散器射流结构和射流理论,尤其是喷口浮射流理论的系统研究,进一步完善规范扩散器射流参数的优化技术和型式设计。

(3) 扩散器管道水流理论基础研究尚少,海水泥沙入侵清除机理和海泥沙入侵清除技术还不够完善,成为制约扩散器推广应用的重要因素,有待深入研究。

(4) 目前为止还没有离岸排海扩散器设计的规范可以参考,设计中随意性比较大,设计规范化、标

准化成为发展污水离岸排海技术亟待解决的问题。

References:

- [1] China Environment Statistics Bulletin. Beijing: Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China, 2010.
- [2] Wood I R, Bell R G, Wilkinson D L. Ocean Disposal of Wastewater. Singapore, Incorporated: World Scientific Publishing Company, 1993: 0-425.
- [3] Zhang Y L, Yan H B. Technical Guidelines of Wastewater Marine Disposal. Beijing: China Environmental Science Press, 1995.
- [4] Xia Q. Engineering Design Theory and Method of Wastewater Marine Disposal. Beijing: China Environmental Science Press, 1996.
- [5] Blumberg A F, Ji Z G, Ziegler C K. Modeling outfall plume behavior using far field circulation model. Journal of Hydraulic Engineering, 1996, 122(11): 610-616.
- [6] Etemad-Shahidi A, Azimi A. Testing the CORMIX2 and VISJET models to predict the dilution of Sanfrancisco outfall // Proceedings of the 7th IWA International Conference on Diffuse Pollution and Basin Management. Dublin: Diffuse Pollution Conference, 2003:129-133.
- [7] Li S, Hodgins D O. A dynamically coupled outfall plume-circulation model for effluent dispersion in Burrard Inlet, British Columbia. Journal of Environmental Engineering and Science, 2004, 3(5): 433-449.
- [8] Bleninger T, Jirka G H. Near- and far-field model coupling methodology for wastewater discharges // Lee J H W, Lam K M. Environmental Hydraulics and Sustainable Water Management. London: Balkema, 2004:447-453.
- [9] Morelissen R, van der Kaaij T, van Vossen B, Bleninger T. Dynamic coupling of near-field and far-field models for simulating effluent discharges. Water Science Technology, 2013, 67(10): 2210-2220.
- [10] Sun C Q, Zhao K S, Sun Y L. Selection of pollutant discharge outlet and prediction of water quality in the offshore area of Basuo. Journal of Ocean University of Qingdao, 1994, (S1): 209-216.
- [11] Yin Y, Zhong W N, Chang N H, Li W, Xu G S. Study of sewage draining schemes Qinhuangdao city in Beidai River Area. Coastal Engineering, 1997, 16(2): 6-12.
- [12] Zhao J J, Bai J, Kang S H. A modeling study on selecting the effluent discharge points of the Nantong sewage discharging project. Coastal Engineering, 2012, 31(2): 31-38.
- [13] Hou P. Three Dimensional Mathematical Model of Coastal Sewage Ocean Discharge in Small Yangkou Port [D]. Nanjing: Hohai University, 2008.
- [14] Song Q, Wu H. Research on the marine environmental impact from Shenzhen municipal sewage discharge by numerical simulation analysis. ACTA Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2001, 40(S2): 126-129.
- [15] Wu H, Wang Z L, Huang J, Zhao Y. Determination of pollutant discharge region's area on municipal wastewater release to sea project of Shenzhen. The Administration and Technique of Environmental Monitoring, 2002, 14(6): 37-40.
- [16] Yang S S. Simulation on the Flow Field, Suspended Sediment, Sediment Transport of the Sewage Marine Disposal Engineering in Yangkou Port Economic Development Zone of Nantong. Tianjin: Tianjin Research Institute for Water Transport Engineering, 2010.
- [17] Wang X H, Zhan S F, Peng S T, Yu H. Research on discharge position selection of sewage marine disposal in Yangkou Port. Journal of Waterway and Harbor, 2011, 32(2): 140-143.
- [18] Bai J F, Peng S T, Wang X H. Simulation and Analysis on the Diffuser Structure of the Standard Sewage Marine Disposal Engineering in Tianjin Nangang Industrial Zone. Tianjin: Tianjin Research Institute for Water Transport Engineering, 2013.
- [19] Duer-Michael J. Use of variable orifice "duckbill" valves for hydraulic and dilution optimization of multiport diffusers. Water Science and Technology, 1998, 38(10): 277-284.
- [20] Wang H W. Investigation of Buoyant Jet Discharges Using DPIV and PLIF [D]. Singapore: Nanyang Technological University, 2000.
- [21] Tian X D, Philip J W. Marine wastewater discharges from multiport diffusers. I: Unstratified stationary water. Journal of Hydraulic Engineering, 2005, 130(12): 1137-1146.
- [22] Tian X D, Philip J W. Marine wastewater discharges from multiport diffusers. II: Unstratified flowing water. Journal of Hydraulic Engineering, 2005, 130(12): 1147-1155.
- [23] Daviero G J, Roberts P J. Marine wastewater discharges from multiport diffusers. III: Stratified stationary water. Journal of Hydraulic Engineering, 2006, 132(4): 404-410.
- [24] Lai A C H, Yu D, Lee J H W. Initial dilution of rosette buoyantjet group in crossflow // Proceedings of the 6th International Symposium on Stratified Flow. Perth, Australia, 2006.
- [25] Lai A C H, Yu D, Lee J H W. Near and intermediate field mixing of a rosette jet group // Proceedings of the 5th International Symposium on Environmental Hydraulics. Tempe, Arizona, 2007.
- [26] Patalano A, Corral M, Rodriguez A, Garcia M, Bleninger T. Submarine outfall design methodology for Argentinean Coasts // Proceedings of International Symposium on Outfall Systems. Argentinean, 2011.
- [27] Xu G T. Research on the Dilution and Diffusion Law of Wastewater Ocean Disposal with Multi Nozzle Jet [D]. Shanghai: Tongji University, 1999.
- [28] Xu G T, Wei H P. Physical and mathematical model study on dilution and dispersion in the near field of Jiaying wastewater ocean disposal project. Marine Environmental Science, 2001, 20(2): 42-46.
- [29] Tang H W, Li X W. Experimental study on characteristics of turbulent jet for duck-bill valve diffuser. Advances in Water Science, 2001, 12(2): 153-159.
- [30] Zhou L W. Mathematics Simulation on Three-dimensional Unsteady Flow Field of Circle Floating Jet [D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2004.
- [31] Fang S G. Research on the Behavior of Obstacked Buoyant Jets [D]. Wanhao: Wuhan University, 2005.
- [32] Gao Z. Study on Mixing Characteristics of Elliptical Jet and Its Application [D]. Nanjing: Hohai University, 2005.

- [33] Xiao Y. The Study on the Mixing Characteristics of A Tandem Multiple Jet Group in Cross-Flow [D]. Nanjing: Hohai University, 2005.
- [34] Xiao Y, Tang H W, AYIDEN. Experiments on the scalar concentration field of a multiple jet group in cross-flow. Journal of Experiments in Fluid Mechanics, 2011, 25(5): 35-39.
- [35] Bai J F, Yu H, Wang X H, Zhao H X, Chen Y H L, Jing L, He Z H, Zhang C Y. Diffuser with Multi-nozzles and Big Jet Angle Used on Sewage Marine Disposal; China, 201220492554.4, 2013-4-17.
- [36] Bleninger T, Avanzini C A, Jirka G H. Hydraulic and technical evaluation of single diameter diffusers with flow rate control through calibrated, replaceable port exits // Proceedings of the 3rd International Conference on Marine Waste Water Discharges and Marine Environment. Catania, Italy, 2004.
- [37] Law A K W, Lee C C, Qu Y. CFD modeling of a multi-port diffuser in an oblique current // Proceedings of the 2nd International Conference on Marine Waste Water Discharges. Istanbul, Turkey, 2002; 1-8.
- [38] Bleninger T, Lipari G, Jirka G H. Design and optimization program for internal diffuser hydraulics // Proceedings of the 2nd International Conference on Marine Waste Water Discharges. Istanbul, Turkey, 2002; 9-15.
- [39] Shannon N R, Mackinnon P A, Hamill G A. Evaluation of a CFD model of saline intrusion in marine outfalls // Proceedings of the 2nd International Conference on Marine Waste Water Discharges. Istanbul, 2002; 16-20.
- [40] Lai Y F. Experimental study of hydraulic characteristics on a sewage discharge diffuser. Shanghai Environmental Science, 1995, 14(5): 11-15.
- [41] Wang C J, Wang K Q. Hydraulic design and model test of a diffuser for wastewater discharge. Marine Environmental Science, 2001, 20(2): 47-50.
- [42] Wu W. Study on Characteristics of Saline Intrusion and Purging in Marine Sewage Outfalls [D]. Nanjing: Hohai University, 2006.
- [43] Zeng X Q, Guo Z R, Huang Z F. Study on the intrusion and purge of seawater of Shenzhen ocean outfall under the undesigned condition. Marine Environmental Science, 1997, 16(3): 29-33.
- [44] Liu C. Sediment Research on Sewage Marine Disposal [D]. Shanghai: Tongji University, 1999.
- [45] Qian D R, Chen Z J, Wei H P. Study on hydraulic characteristics of the ocean diffusers with equal section. Sichuan Environment, 2001, 20(1): 9-12.
- [46] Zhao Y S, Liu W L, Feng Q. The Impact of the waves on the flow of the sewage diffuser. Chinese Quarterly of Mechanics, 2009, 30(1): 154-163.
- [10] 孙长青, 赵可胜, 孙英兰. 八所近岸海域排污口选址及水质预测. 青岛海洋大学学报, 1994, (S1): 209-216.
- [11] 尹毅, 仲维妮, 常乃环, 李伟, 许广森. 秦皇岛市北戴河区污水排海方案的研究. 海岸工程, 1997, 16(2): 6-12.
- [12] 赵俊杰, 白静, 康苏海. 南通污水排海工程排放点比选的数值模拟. 海岸工程, 2012, 31(2): 31-38.
- [13] 侯珊. 小洋口近岸污水排海及其影响三维数学模型 [D]. 南京: 河海大学, 2008.
- [14] 宋强, 吴航. 深圳市政污水排海工程对海域环境影响的数值模拟研究. 中山大学学报: 自然科学版, 2001, 40(S2): 126-129.
- [15] 吴航, 王泽良, 黄剑, 赵云. 深圳市政污水排海工程排污混合区范围的确定. 环境监测管理与技术, 2002, 14(6): 37-40.
- [16] 杨树森. 南通市洋口港经济开发区一期污水处理排海工程潮流场、悬沙场数模及泥沙冲淤分析计算研究. 天津: 交通运输部天津水运工程科学研究所, 2010.
- [17] 王心海, 詹水芬, 彭士涛, 于航. 洋口港污水排海工程排污口选址研究. 水道港口, 2011, 32(2): 140-143.
- [18] 白景峰, 彭士涛, 王心海. 天津南港工业区达标尾水深海排放工程扩散器模拟分析及结构型式研究. 天津: 交通运输部天津水运工程科学研究所, 2013.
- [27] 徐高田. 污水海洋处置多喷口浮射流稀释扩散规律研究 [D]. 上海: 同济大学, 1999.
- [28] 徐高田, 韦鹤平. 嘉兴市污水海洋处置工程近区稀释扩散物理模型和数学模型研究. 海洋环境科学, 2001, 20(2): 42-46.
- [29] 唐洪武, 李行伟. 鸭嘴阀扩散器紊动射流特性试验研究. 水科学进展, 2001, 12(2): 153-159.
- [30] 周连伟. 三维非恒定流场中圆形浮射流的数值模拟研究 [D]. 大连: 大连理工大学, 2004.
- [31] 方神光. 有障碍浮力射流特性的研究 [D]. 武汉: 武汉大学, 2005.
- [32] 高柱. 椭圆射流掺混特性研究及应用 [D]. 南京: 河海大学, 2005.
- [33] 肖洋. 横向流动条件下多孔水平动量射流掺混特性研究 [D]. 南京: 河海大学, 2005.
- [34] 肖洋, 唐洪武, 阿衣丁别克·居马拜. 横流中多孔射流的稀释特性实验研究. 实验流体力学, 2011, 25(5): 35-39.
- [35] 白景峰, 于航, 王心海, 赵宏鑫, 陈瑶泓伶, 井亮, 何泽慧, 张春意. 用于污水深海排放的多喷口大射流角度扩散器: 中国, 201220492554.4, 2013-4-17.
- [40] 赖翼峰. 某排污扩散器水力特性的实验研究. 上海环境科学, 1995, 14(5): 11-15.
- [41] 王春节, 王可钦. 污水排海工程的扩散器水力设计与模型试验研究. 海洋环境科学, 2001, 20(2): 47-50.
- [42] 吴玮. 污水海洋扩散器海水入侵及清除特性研究 [D]. 南京: 河海大学, 2006.
- [43] 曾小清, 郭振仁, 黄章富. 深圳妈湾排海工程非设计条件下海水入侵与冲洗研究. 海洋环境科学, 1997, 16(3): 29-33.
- [44] 刘成. 污水海洋处置工程泥沙问题研究 [D]. 上海: 同济大学, 1999.
- [45] 钱达仁, 陈祖军, 韦鹤平. 污水海洋处置等截面扩散器水力特性的研究. 四川环境, 2001, 20(1): 9-12.
- [46] 赵毅山, 刘维禄, 冯奇. 波浪对污水扩散器出流量影响. 力学季刊, 2009, 30(1): 154-163.

参考文献:

- [1] 全国环境统计公报. 北京: 中华人民共和国环境保护部, 2010.
- [3] 张永良, 阎鸿邦. 污水海洋处置技术指南. 北京: 中国环境科学出版社, 1995.
- [4] 夏青. 污水海洋处置工程设计理论与方法. 北京: 中国环境科学出版社, 1996.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.1 Jan., 2014 (Semimonthly)

CONTENTS

Foreword: Complexity and Sustainability	(I)
Frontiers and Comprehensive Review	
Urban eco-complex and eco-space management	WANG Rusong, LI Feng, HAN Baolong, et al (1)
Review of carbon sequestration assessment method in the marine ecosystem .....	.....
.....	SHI Honghua, WANG Xiaoli, ZHENG Wei, et al (12)
A review of sensitivity model for urban ecosystems	YAO Liang, WANG Rusong, YIN Ke, et al (23)
Urban ecological metabolism of municipal solid waste: a review	ZHOU Chuanbin, XU Wanying, CAO Aixin (33)
Autecology & Fundamentals	
Parameter sensitivity analysis of a coupled biological-physical model in Jiaozhou Bay .....	.....
.....	SHI Honghua, SHEN Chengcheng, LI Fen, et al (41)
Macroinvertebrate investigation and their relation to environmental factors in Bohai Bay .....	.....
.....	ZHOU Ran, QIN Xuebo, PENG Shitao, et al (50)
Review of the impacts of bioturbation on the environmental behavior of contaminant in sediment .....	.....
.....	QIN Xuebo, SUN Hongwen, PENG Shitao, et al (59)
Population, Community and Ecosystem	
Ecosystem services' spatial characteristics and their relationships with residents' well-being in Miyun Reservoir watershed .....	.....
.....	WANG Dashang, LI Yifeng, ZHENG Hua, et al (70)
Contingent valuation of preserving ecosystem of Changdao Island Nature Reserve .....	.....
.....	ZHENG Wei, SHEN Chengcheng, QIAO Mingyang, et al (82)
Discussion of carbon sequestration estimates in the island terrestrial ecosystems .....	.....
.....	WANG Xiaoli, WANG Ai, SHI Honghua, et al (88)
Landscape, Regional and Global Ecology	
An integrated indicator on regional ecological civilization construction	LIU Moucheng, SU Ning, LUN Fei, et al (97)
The eco-environmental evaluation based on habitat quality and ecological response of Laizhou Bay .....	.....
.....	YANG Jianqiang, ZHU Yonggui, SONG Wenpeng, et al (105)
Analysis of the evolution and value of coastal ecosystem services at Gudong Coast in the Yellow River Delta since 1985 .....	.....
.....	LIU Dahai, CHEN Xiaoying, XU Wei, et al (115)
Research of index system framework in marine ecology monitoring & regulation areas division based on complex ecosystem of nature-human-society	XU Huimin, DING Dewen, SHI Honghua, et al (122)
The environmental function assessment and zoning scheme in China	WANG Jinnan, XU Kaipeng, CHI Yanyan, et al (129)
Resource and Industrial Ecology	
Definition and evaluation indicators of ecological industrial park's complex eco-efficiency .....	.....
.....	LIU Jingru, LÜ Bin, ZHANG Na, et al (136)
Spatial-temporal distribution of agricultural eco-efficiency in China	CHENG Cuiyun, REN Jingming, WANG Rusong (142)
The coupling mechanism and industrialization mode of ecological restoration in the weak semi arid mining area of Inner Mongolia .....	.....
.....	CHEN Yubi, HUANG Jinlou, XU Huaqing, et al (149)
Evaluation of ecological marine islands construction based on material flow analysis: a case study of Changhai County .....	.....
.....	CHEN Dongjing, ZHENG Wei, GUO Huili, et al (154)
Ecological risks and sustainable utilization of reclaimed water and wastewater irrigation .....	.....
.....	CHEN Weiping, LÜ Sidan, ZHANG Weiling, et al (163)

Estimation of agricultural non-point source pollution based on watershed unit: a case study of Laizhou Bay	
.....	MA Deming, SHI Honghua, FENG Aiping (173)
The evaluation method in the impact of intensive sea use on the marine ecological environment	
.....	LUO Xianxiang, ZHU Yonggui, ZHANG Longjun, et al (182)
Urban, Rural and Social Ecology	
Urban ecological infrastructure based on ecosystem services;status,problems and perspectives	
.....	LI Feng, WANG Rusong, ZHAO Dan (190)
Spatial features of road network in Beijing built up area and its relations with LST and NDVI	
.....	GUO Zhen,HU Dan,LI Yuanzheng,et al (201)
The conjugate ecological management model for urban land administration based on the land complex ecological function	
.....	YIN Ke, WANG Rusong, YAO Liang, et al (210)
Value assessment of the function of the forest ecosystem services in Chongqing	
.....	XIAO Qiang, XIAO Yang,OUYANG Zhiyun, et al (216)
Ecological risk evaluation of port in Bohai Bay	PENG Shitao, QIN Xuebo, ZHOU Ran, et al (224)
Research review of the tail disposal technology of the standard sewage offshore outfall	PENG Shitao,WANG Xinhai (231)

《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 34 卷 第 1 期 (2014 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 34 No. 1 (January, 2014)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail: journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行人

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元