

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第9期

Vol.34 No.9

2013

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

利用PUF被动采样技术研究长三角城市群大气中多环芳烃的时空分布及来源 张利飞, 杨文龙, 董亮, 史双昕, 周丽, 张秀蓝, 李玲玲, 钮珊, 黄业茹 (3339)

FTIR对大气颗粒物PM_{2.5}中硝酸盐的定量分析 刘娜, 魏秀丽, 高闽光, 徐亮, 焦洋, 李胜, 童晶晶, 程巴阳 (3347)

福建茫荡山地区春季大气O₃、HONO、HCHO、H₂O₂对·OH的贡献率研究 刘昊, 王会祥 (3352)

水体类固醇雌激素污染现状研究进展 都韶婷, 金崇伟, 刘越 (3358)

嘉兴市地表水中兽用抗生素的污染现状调查 闫幸, 余卫娟, 兰亚琼, 李立, 吕升, 叶朝霞, 张永明, 刘锐, 陈吕军 (3368)

上海食用鱼中短链氯化石蜡的污染特征 姜国, 陈来国, 何秋生, 孟祥周, 封永斌, 黄玉妹, 唐才明 (3374)

水体环境内毒素活性的鲎法定量检测及影响因素研究 张灿, 刘文君, 张明露, 田芳, 孙雯, 钱令嘉, 战锐 (3381)

四环素类抗生素对淡水绿藻的毒性作用 徐冬梅, 王艳花, 饶桂维 (3386)

光照对东海典型赤潮藻生长及硝酸还原酶活性的影响 李鸿妹, 石晓勇, 丁雁雁, 唐洪杰 (3391)

围隔实验中浒苔在不同营养盐条件下的生长比较 庞秋婷, 李凤, 刘湘庆, 王江涛 (3398)

长江口及邻近海域浮游植物色素分布与群落结构特征 赖俊翔, 俞志明, 宋秀贤, 韩笑天, 曹西华, 袁涌铨 (3405)

长江中下游湖泊超微型真核藻类遗传多样性研究 李胜男, 史小丽, 谢薇薇, 龚伊, 孔繁翔 (3416)

峡谷型水源水库的氮、磷季节变化及其来源分析 黄廷林, 秦昌海, 李璇 (3423)

九龙江河流-库区系统沉积物磷特征及其生态学意义 鲁婷, 陈能汪, 陈朱虹, 王龙剑, 吴杰忠 (3430)

氮在高含沙水向人工浅水湖泊补水期间的变化规律 陈友媛, 申宇, 杨世迎 (3437)

石灰石和黄铁矿-石灰石人工湿地净化河水的研究 张菁, 李睿华, 李杰, 胡俊松, 孙茜茜 (3445)

杭州湾潮滩湿地3种优势植物碳氮磷储量特征研究 邵学新, 李文华, 吴明, 杨文英, 蒋科毅, 叶小齐 (3451)

滇池优势挺水植物茭草和芦苇降解过程中DOM释放特征研究 谢理, 杨浩, 渠晓霞, 朱元荣, 鄢元波, 张明礼, 吴丰昌 (3458)

自来水处理工艺对溶解相中全氟化合物残留的影响 张鸿, 陈清武, 王鑫璇, 柴之芳, 沈金灿, 杨波, 刘国卿 (3467)

J市饮用水氯消毒副产物分析及其健康风险评估 李晓玲, 刘锐, 兰亚琼, 余素林, 文晓刚, 陈吕军, 张永明 (3474)

水中硫酸根及溶解氧质量浓度变化对管垢金属元素释放的影响 吴永丽, 石宝友, 孙慧芳, 张枝焕, 顾军农, 王东升 (3480)

重金属捕集剂对水中微量Hg(II)的处理研究 胡运俊, 盛田田, 薛晓芹, 谭丽莎, 徐新华 (3486)

聚合氯化铁-聚(环氧氯丙烷-二甲胺)复合絮凝剂在模拟水处理中的混凝特性研究 刘新新, 杨忠莲, 高宝玉, 王燕, 岳钦艳, 李倩 (3493)

镁铝复合脱色絮凝剂的微观结构形态及絮凝机制 桑义敏, 常雪红, 车越, 谷庆宝 (3502)

钴掺杂铁酸铋活化过硫酸盐降解水中四溴双酚A的研究 欧阳磊, 丁耀彬, 朱丽华, 唐和清, 廖海星 (3507)

以海泡石为载体的双金属多相类芬顿催化剂的制备及表征 宿程远, 李伟光, 刘兴哲, 王恺尧, 王勇 (3513)

氧化还原介体调控亚硝酸盐反硝化特性研究 赵丽君, 马志远, 郭延凯, 席振华, 杜海峰, 刘晓宇, 郭建博 (3520)

缓释碳源滤池用于二级出水的深度脱氮 唐蕾, 李彭, 左剑恶, 袁琳, 李再兴 (3526)

微膨胀对好氧颗粒污泥脱氮过程中N₂O产生量的研究 陈丽丽, 高大文 (3532)

Fenton试剂与CPAM联合调理对污泥脱水效果的影响研究 马俊伟, 刘杰伟, 曹芮, 岳东北, 王洪涛 (3538)

高效厌氧氨氧化颗粒污泥的动力学特性 唐崇俭, 熊蕾, 王云燕, 郑平 (3544)

内蒙古温带草原氮沉降的观测研究 张菊, 康荣华, 赵斌, 黄永梅, 叶芝祥, 段雷 (3552)

湘中矿区不同用地类型面源Cd输出负荷的原位实验研究 刘孝利, 曾昭霞, 陈喆, 铁柏清, 陈永稳, 叶长城 (3557)

蠡湖沉积物重金属形态及稳定性研究 王书航, 王雯雯, 姜霞, 宋倩文 (3562)

密云县境内潮河流域土壤重金属分析评价 于洋, 高宏超, 马俊花, 李迎霞, 莫雁, 孔彦鸿 (3572)

西北干旱区黄河沿岸典型工业带表土磁性特征及其环境意义 许淑婧, 张英, 余晔, 王博, 夏敦胜 (3578)

复合稳定剂对砷污染土壤的稳定研究 王浩, 潘利祥, 张翔宇, 李萌, 宋宝华 (3587)

湖南下水湾铅锌尾矿库优势植物重金属含量及富集特征 何东, 邱波, 彭尽晖, 彭亮, 胡凌霄, 胡瑶 (3595)

安太堡露天矿复垦地不同人工植被恢复下的土壤酶活性和肥力比较 王翔, 李晋川, 岳建英, 周小梅, 郭春燕, 卢宁, 王宇宏, 杨生权 (3601)

三苯基锡的微生物降解及其对降解菌的影响 叶锦韶, 田云, 尹华, 彭辉, 黄捷, 麻榆佳 (3607)

二氯甲烷降解菌 *Methylobacterium rhodesianum* H13 的分离鉴定及降解特性研究 刘洪霞, 朱润晔, 欧阳杜娟, 庄庆丰, 陈东之, 陈建孟 (3613)

引物选择对污泥微生物多样性分析的影响 徐爱玲, 吴等等, 宋志文, 任杰, 夏岩, 董珊珊, 刘梦 (3620)

钙铝类水滑石衍生复合氧化物的SO₂储存性能研究 曹琳, 王海滨, 解强 (3627)

基于转运站满负荷的北京市新东西城区生活垃圾物流优化方案研究 袁京, 李国学, 张红玉, 罗一鸣 (3633)

重金属污染土壤治理与生态修复论坛会议论文

多证据分析技术在场地重金属污染评价中的应用研究 姜林, 钟茂生, 朱笑盈, 姚珏君, 夏天翔, 刘辉 (3641)

我国城市不同功能区地表灰尘重金属分布及来源 李晓燕, 刘艳青 (3648)

黄河下游滩区开封段土壤重金属分布特征及其潜在风险评价 张鹏岩, 秦明周, 闫江虹, 胡长慧, 赵亚平 (3654)

青岛北站规划区原场地表层土壤重金属污染研究 朱磊, 贾永刚, 潘玉英 (3663)

某铅蓄电池厂土壤中铅的含量分布特征及生态风险 郑立保, 陈卫平, 焦文涛, 黄锦楼, 魏福祥 (3669)

某铅冶炼厂对周边土壤质量和人体健康的影响 周小勇, 雷梅, 杨军, 周广东, 郭广慧, 陈同斌, 万小铭, 梁琪, 乔鹏伟 (3675)

某铅蓄电池厂表土不同粒径中铅分布规律研究 岳希, 孙体昌, 黄锦楼 (3679)

原位生物稳定固化技术在铬污染场地治理中的应用研究 张建荣, 李娟, 许伟 (3684)

淋洗剂对多金属污染尾矿土壤的修复效应及技术研究 朱光旭, 郭庆军, 杨俊兴, 张晗芝, 魏荣菲, 王春雨, Marc Peters (3690)

铅蓄电池厂污染土壤中重金属铅的清洗及形态变化分析 任贝, 黄锦楼, 苗明升 (3697)

超声波辅助化学萃取对某工业场地铅污染土壤修复效果研究 王鑫杰, 黄锦楼, 刘志强, 岳希 (3704)

摩擦清洗修复铅污染土壤的参数优化及清洗效率评价 杨雯, 黄锦楼, 彭会清, 李思拓 (3709)

土壤重金属钝化修复剂生物炭对镉的吸附特性研究 郭文娟, 梁学峰, 林大松, 徐应明, 王林, 孙约兵, 秦旭 (3716)

无机稳定剂对重金属污染土壤的化学稳定修复研究 曹梦华, 祝玺, 刘黄诚, 王琳玲, 陈静 (3722)

《环境科学》征稿简则(3404) 《环境科学》征订启事(3444) 信息(3492, 3551, 3696, 3715)

基于转运站满负荷的北京市新东西城区生活垃圾物流优化方案研究

袁京, 李国学*, 张红玉, 罗一鸣

(中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193)

摘要: 北京市新东区和西新城成立后迫切需要对现有生活垃圾物流方案进行优化, 实现生活垃圾资源化处理. 以北京市东西城区生活垃圾为研究对象, 利用统计预测模型和 GIS 空间分析技术与方法, 在分析了 4 个老城区生活垃圾产生量及所属密闭清洁站垃圾流向和流量基础上, 提出了基于满负荷运行的三大转运站(马家楼、小武基和大屯)生活垃圾等距离收集运输优化物流模式, 分析了现状及新物流模式下生活垃圾物料平衡. 结果表明, 与现状收集模式相比, 等距离优化物流模式可使清运距离减少约 $9.3 \times 10^5 \text{ km} \cdot \text{a}^{-1}$, 与现状相比减少 10%; 同时, 基于三大转运站满负荷运转的, 部分考虑海淀、丰台和朝阳区跨区运行的生活垃圾优化物流模式下, 且充分利用现有的处理处置设施, 可减少原生垃圾填埋量约 28.3%. 在优化模式的基础上若北京市正筹建的 3 座垃圾焚烧厂建成后, 可使新东西城区生活垃圾焚烧、生化、填埋比例由现状 1:4.8:4.2, 达到 3.8:4.5:1.7, 可基本接近北京市 2015 年生活垃圾焚烧、堆肥和填埋比例达到 4:3:3 规划目标.

关键词: 生活垃圾; 物流; 清运距离; 转运站; 物料平衡

中图分类号: X705 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)09-3633-08

Optimization for MSW Logistics of New Xicheng and New Dongcheng Districts in Beijing Based on the Maximum Capacity of Transfer Stations

YUAN Jing, Li Guo-xue, ZHANG Hong-yu, LUO Yi-ming

(College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract: It is necessary to achieve the optimization for MSW logistics based on the new Xicheng (combining the former Xicheng and the former Xuanwu districts) and the new Dongcheng (combining the former Dongcheng and the former Chongwen districts) districts of Beijing. Based on the analysis of current MSW logistics system, transfer station's processing capacity and the terminal treatment facilities' conditions of the four former districts and other districts, a MSW logistics system was built by GIS methods considering transregional treatment. This article analyzes the MSW material balance of current and new logistics systems. Results show that the optimization scheme could reduce the MSW collection distance of the new Xicheng and the new Dongcheng by $9.3 \times 10^5 \text{ km} \cdot \text{a}^{-1}$, reduced by 10% compared with current logistics. Under the new logistics solution, considering transregional treatment, can reduce landfill treatment of untreated MSW about 28.3%. If the construction of three incineration plants finished based on the new logistics, the system's optimal ratio of incineration: biochemical treatment: landfill can reach 3.8:4.5:1.7 compared with 1:4.8:4.2, which is the ratio of current MSW logistics. The ratio of the amount of incineration: biochemical treatment: landfill approximately reach 4:3:3 which is the target for 2015. The research results are benefit in increasing MSW utilization and reduction rate of the new Dongcheng and Xicheng districts and nearby districts.

Key words: MSW; logistics; collection distance; transfer stations; material balance

目前,我国城市生活垃圾产生量年增长率约达 8%~10%,垃圾成分也日趋复杂. 全国历年垃圾存量已超过 60 亿 t, 已成为一种公认的“城市公害”^[1]. 2010 年,北京市年产垃圾 633.0 万 t^[2]. 然而垃圾处理处置方式、比例与垃圾物理组成比例极不适宜,表现在有机易腐物比例高,填埋比例过大;堆肥比例过小,只占 6.1%;可燃组分高,焚烧比例过小,只占 4.3%^[3]. 北京市城市生活垃圾基本上是混合收集,混合收集方式使北京市的垃圾填埋处置能力不堪重负,不仅占用了宝贵的土地资源,还严重污染了环境^[4]. 北京市目前焚烧、生化处理和卫

生填埋比例为 2:8:90,垃圾处理结构极不合理. 据《关于全面推进生活垃圾处理工作的意见》,到 2012 年北京市生活垃圾焚烧、堆肥和填埋比例达到 2:3:5,到 2015 年北京市生活垃圾焚烧、堆肥和填埋比例达到 4:3:3,为实现这一目标,堆肥和焚烧处理量必须大幅度提高. 2010 年 7 月,国务院正式批准将

收稿日期: 2012-12-02; 修订日期: 2013-03-07

基金项目: 国家自然科学基金项目(41075110, 40971177); 朝阳区生活垃圾分类体系研究与示范项目(Z101109022310002); 北京市环境卫生工程集团有限公司项目

作者简介: 袁京(1988~),女,硕士研究生,主要研究方向为固体废物处理与资源化, E-mail: yuanjing19880524@163.com

* 通讯联系人, E-mail: ligx@cau.edu.cn

北京原崇文、宣武、东城、西城这4个区合并为两个新城区(原东城区与原崇文区合并为新东城区,原西城区与原宣武区合并为新西城区)。目前在维持原城四区现行物流模式条件下,与之相关的3个转运站包括马家楼、小武基和大屯存在垃圾来源和分配比例不平衡的问题,造成极大的资源浪费,影响作业效率。因此,在新的契机下,研究如何实现垃圾物流系统优化,并充分利用和适当提升现有处理设施的处理能力,以提高生活垃圾处理效率和资源化利用率成为更为迫切的问题。

国外已有一些研究人员在生活垃圾物流优化方面做了研究^[5-18]。Anderson等^[5]最早将混合整数规划应用在垃圾收运系统规划和选址,Anderson^[6]先将GIS引入垃圾车辆收运规划上,目标是转运站、填埋场的选址优化和垃圾流的优化。国外对路线问题的研究主要是针对邮政员问题^[7]、销售员问题^[8]、车辆路线问题^[9,10]。基于这些路线问题,从而产生了一些新的路线问题的研究领域,如乡村邮政员问题^[11]、周期性车辆路线问题^[12]等。多数研究为运输模型优化方面研究^[15,16],很少有关于生活垃圾整个物流过程的研究。另外研究者有对于发达国家城市生活垃圾物流的研究^[17,18],鲜少有人研究发展中国家的实际案例,特别是像北京这样生活垃圾主要以混合运输收集运输为主的城市。国内研究成果主要涉及到中转站的设置标准、布点,垃圾运往不同处理设施之间的调运量等^[19-22],以及利用模型研究具体城市中生活垃圾调运及物流管理方案^[23-25]。刘桐武等^[23]将线性规划及运输模型应用于垃圾调运,陈炳禄等^[25]研究了广州市生活垃圾处理方式及物流管理方案优化。本研究将从垃圾收运及处理处置全过程物流系统出发,结合北京市生活垃圾焚烧、堆肥、填埋的新目标,综合考虑北京市城区生活垃圾各处理处置设施能力,提出一套切实可行的生活垃圾新物流方案,以期为北京市生活垃圾处理设施的建设规划和综合处理模式的优选提供

数据支持和理论依据。

1 材料与方法

1.1 基础数据

目前北京市东西城区的垃圾收集主要采用混合收集的方式。作为研究对象的原城四区(东城区、西城区、崇文区、宣武区)以及周边几个城区的生活垃圾日产量见表1,其生活垃圾主要由马家楼、小武基、大屯转运站负责预处理和转运。东西城区2010年生活垃圾产生量为 $2\,590\text{ t}\cdot\text{d}^{-1}$ 左右,原东城区收集的 $690\text{ t}\cdot\text{d}^{-1}$ 及原西城区收集的 $890\text{ t}\cdot\text{d}^{-1}$ 生活垃圾运往大屯转运站进行压缩预处理后,最终转运至国中堆肥厂和阿苏卫填埋场末端处理设施。原宣武区收集的 $590\text{ t}\cdot\text{d}^{-1}$ 及原崇文区收集的 $420\text{ t}\cdot\text{d}^{-1}$ 生活垃圾分别运往马家楼、小武基转运站进行分选预处理后,最终分别转运到南宫堆肥厂、安定填埋场及北神树填埋场末端处理设施。

马家楼、小武基、大屯转运站都属于环境卫生工程集团设施,只负责原城四区生活垃圾预处理。尽管马家楼转运站处在丰台区内,小武基转运站处在朝阳区内,但是不属于丰台和朝阳所有,因此也不负责预处理丰台和朝阳区生活垃圾,东西城区外的其他任何区的生活垃圾若经过此三大转运站进行预处理都属于跨区处理。目前,朝阳区一部分生活垃圾已经采用了跨区处理方式,跨区处理量约为 $1\,875\text{ t}\cdot\text{d}^{-1}$,其中 $435\text{ t}\cdot\text{d}^{-1}$ 为依托大屯转运站压缩后转运到阿苏卫处理中心进行处理,依托小武基转运站转运到南城末端设施处理为 $1\,440\text{ t}\cdot\text{d}^{-1}$ 的垃圾。但仍不能实现部分转运站满负荷运转,如马家楼转运站满负荷为 $2\,080\text{ t}\cdot\text{d}^{-1}$,实际上运行效率为30%,而小武基除了处理原崇文区收集的垃圾外,还须负责朝阳区跨区收集的 $1\,440\text{ t}\cdot\text{d}^{-1}$ 的垃圾,负荷率为89%;大屯转运站满负荷运转为 $1\,800\text{ t}\cdot\text{d}^{-1}$,低于原东西城和跨区来的朝阳区垃圾,负荷率为112%。

表1 北京市城四区及周边城区生活垃圾日产量/ $\text{t}\cdot\text{d}^{-1}$

Table 1 MSW quantity of former four districts and nearby districts/ $\text{t}\cdot\text{d}^{-1}$

城区	新东西城	朝阳区	海淀区	丰台区	昌平	大兴	石景山	合计
日产垃圾量	2 590	4 100	3 000	2 500	1 300	1 100	220	14 810

除了与原城四区有直接关系的大屯、小武基和马家楼这3个转运站外,周边丰台区和海淀区还拥有北天堂和五路居2座大型转运站,分别负责本区生活垃圾的转运和前处理功能。小武基、北天堂和

马家楼转运站采用先进的筛分、磁选、风选、打包和进出料管理系统和工艺,是较为先进的具有分选功能的转运站;大屯转运站和五路居转运站仅具有简单的压缩功能,预处理水平相对较低。表2为新

东西城及周边部分城区转运站和最终处理处置设施情况. 其中, 位于北线的国中堆肥厂和位于西南线的南宫堆肥厂是将新东西城区生活垃圾进行生化处理的两大主要处理设施. 目前南宫堆肥厂正在进行

升级改造, 以实现两年内处理能力提升到 $2\,000\ t\cdot d^{-1}$. 北京市现有的焚烧厂只有高安屯焚烧厂. 截至 2015 年, 将筹建周边的阿苏卫、大工村、南宫三座焚烧厂.

表 2 新东西城及周边部分城区转运站和最终处理处置设施

Table 2 Main transfer stations and treatment facilities of former four districts and nearby districts

设施名称	处理能力/ $t\cdot d^{-1}$	功能	所在区县	管理方	现状
马家楼转运站	2 080	筛分、压缩	丰台	环卫集团	运营
小武基转运站	2 080	筛分、压缩	朝阳	环卫集团	运营
北天堂转运站	2 000	筛分、压缩	丰台	丰台区	运营
五路居转运站	1 500	压缩	海淀	海淀区	运营
大屯转运站	1 800	压缩	朝阳	环卫集团	运营
南宫堆肥厂	1 000	隧道式好氧发酵工艺	大兴	环卫集团	运营
国中堆肥厂	1 600	前处理 + 动态好氧发酵	昌平	国中公司	运营
北神树填埋场	1 000	卫生填埋	通州	环卫集团	运营
安定填埋场(二期)	1 400	卫生填埋	大兴	环卫集团	运营
永和庄填埋场	600	卫生填埋	丰台	丰台区	运营
阿苏卫填埋场	2 000	卫生填埋	昌平	环卫集团	运营
六里屯填埋场	1 500	卫生填埋	海淀	海淀区	运营
高安屯填埋场	1 000	卫生填埋	朝阳	朝阳区	运营
高安屯焚烧厂	1 600	炉排炉	朝阳	朝阳区	运营
阿苏卫焚烧厂	1 000	炉排炉	昌平	环卫集团	待建
大工村焚烧厂	2 000	炉排炉	海淀	海淀区	待建
南宫焚烧厂	1 000	炉排炉	大兴	环卫集团	待建

1.2 研究方法

1.2.1 数据分析

生活垃圾处理处置设施基本数据及生活垃圾进入转运站后物料平衡参数通过实地调研及北京环境卫生工程集团有限公司提供获得.

北京市东西城区及朝阳、海淀、丰台区等各区的生活垃圾日产生量通过密闭式清洁站的 GPS 定位获得, 现有正常运转的密闭清洁站都在 GPS 定位系统上均有标注. 有关垃圾量数据统计均为 2010 年定位数据.

清运距离为从密闭清洁站到转运站的距离, 通过 GPS 定位密闭清洁站及各转运站位置后计算所得.

1.2.2 物料平衡

生活垃圾物流各节点如图 1 所示, 本研究起点为密闭清洁站, 各密闭清洁站生活垃圾经清运后运

输至转运站, 经过转运站后再转运至末端处理处置厂. 生活垃圾在转运站经转运后, 会有少许渗滤液的损失, 若转运站为分选转运站, 如马家楼转运站和小武基转运站, 则经分选转运后会有部分回收物进入物资回收系统. 而只具备压缩功能的转运站, 如大屯转运站, 不具备分选功能, 生活垃圾只压缩, 不经分选. 本文中物料平衡指生活垃圾从转运站开始到最终末端处理处置整个过程中各部分垃圾最终归宿.

负责东西城区垃圾转运的 3 个转运站的日处理能力远高于东西城区每日的生活垃圾产生量, 全部的生活垃圾都经过转运站, 因此进行物料平衡计算时, 进入转运站的生活垃圾量为生活垃圾产生总量.

进入转运站的量 = 生活垃圾产生总量 = 渗滤液损失 + 回收物 + 原生焚烧垃圾量 + 原生垃圾堆肥量 + 原生垃圾填埋量, 生活垃圾经转运站后, 垃圾的物

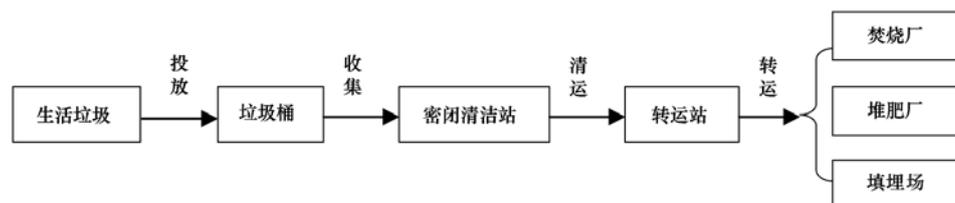


图 1 生活垃圾物流节点

Fig. 1 Map of simplified MSW logistics model

理组成发生变化,但其化学性质并未改变,直接进入末端处理处置厂的垃圾也为原生垃圾。

总焚烧量 = 原生垃圾焚烧量 + 部分堆肥残渣量

原生垃圾堆肥量 = 堆肥产品 + 堆肥残渣 + 堆肥损失

总填埋量 = 原生垃圾填埋量 + 部分堆肥残渣量 + 焚烧残渣量

1.2.3 等距离物流方法

本研究中,优化物流方案中生活垃圾运输路线采用了简单的数学思路,两点确定一条直线,这条直线垂直平分线上的点距离两个端点的距离相等。负责东西城区生活垃圾转运的3个转运站(大屯、马家楼、小武基)可形成一个三角形,分别作三角形三条线段的垂直平分线,交于三角形内一点。则垂直平分线上的点距离两侧的转运站的距离相等。例如,大屯转运站相邻两边的垂直平分线与交点围成的区域内的密闭清洁站距离大屯转运站的距离较其它两个转运站相比最近,同理,可划定基于等距离线的每个转运站的最佳收集范围。本研究中优化物流

方案中密闭清洁站运往转运站的路线在此原理的基础上同时考虑行政区划,划定了3个转运站的最佳收集范围。由于此最佳收集范围的边界是根据构成三角形的3条边的垂直平分线划定的,垂直平分线上的点距离两个端点是等距离的,因此将此方案命名为等距离物流规划方案。

2 结果与分析

2.1 原城四区生活垃圾物流现状分析

2.1.1 原城四区生活垃圾物流现状

原城四区有3个转运站作为主要物流结点,3个转运站的处理能力和物料来源如表3所示。马家楼转运站现日处理垃圾 $590 \text{ t}\cdot\text{d}^{-1}$,与其 $2\,000 \text{ t}\cdot\text{d}^{-1}$ 的处理能力相比,严重亏缺,造成设施资源浪费。小武基与大屯转运站由于接收部分朝阳区生活垃圾,能达到或略超过满负荷运转,但仅就原城四区日产生生活垃圾量($2\,590 \text{ t}\cdot\text{d}^{-1}$)来看,与三大转运站满负荷运转($5\,800 \text{ t}\cdot\text{d}^{-1}$)尚有一定距离,为实现设施的合理利用,生活垃圾跨区处理是重要的途径。

表3 现状下转运站的垃圾来源与清运量/ $\text{t}\cdot\text{d}^{-1}$

Table 3 MSW source and quantity of current MSW logistics/ $\text{t}\cdot\text{d}^{-1}$

转运站	西城区		东城区		部分跨区	合计	处理能力	亏缺量
	原西城区	原宣武区	原东城区	原崇文区	朝阳区			
马家楼	—	590	—	—	—	590	2 000	1 410
小武基	—	—	—	420	1 440	1 860	2 000	140
大屯	890	—	690	—	435	2 015	1 800	—

2.1.2 基于原城四区和3个转运站的垃圾处理处置物料平衡

在由收集容器(垃圾桶)、密闭清洁站、转运站和末端处理处置场所构成生活垃圾物流中,垃圾转运站是实现垃圾分流的重要节点。原城四区生活垃圾经过3个转运站后的处理处置物料平衡计算见表4所示。从中看出,进入压缩工艺的大屯转运站和进入分选工艺的小武基和马家楼转运站均有渗滤液产生,同时产生一部分可回收物(塑料和铁等)。由于大屯转运站不具备分选功能,生活垃圾经过大屯转运站转运到国中堆肥厂后,首先经过前分选系统进行筛分前处理,然后经过滚筒和宽幅条垛堆肥工艺处理。国中堆肥厂前分选后有专门的物资回收公司进行物资回收,回收率较高,表4中大屯转运站处理线下回收物为 $148 \text{ t}\cdot\text{d}^{-1}$,指经过大屯转运站,进入国中堆肥厂处理线后可由分拣公司分选出的回收物,并非指大屯转运站分选出的回收物,大屯转运站不具备分选功能,没有回收物。国中堆肥厂堆肥产

率为18.4%,5~25 mm和>25 mm堆肥残渣各占堆肥原料13%和27%,残渣及部分剩余垃圾最终进入阿苏卫填埋场进行填埋处理。进入马家楼和小武基分选转运站的生活垃圾出站后,经填埋、堆肥和焚烧的比例分别为10%、54%和36%。由于2010年南宫堆肥厂对堆肥工艺进行了改进,在堆肥过程中添加菌剂的同时使用堆肥余热和接种菌剂,显著促进了有机物的分解转化,很大程度上降低了堆肥除渣率,堆肥产率比国中堆肥厂提高了6.6%,约为25%。5~25 mm和>25 mm堆肥残渣分别占堆肥原料7%、23%,最终进入安定、北神树填埋场进行填埋处理。其中>25 mm堆肥残渣可继续进行焚烧处理。进入垃圾填埋场的垃圾总填埋量为原生填埋垃圾、堆肥残渣及焚烧残渣之和。在焚烧设施未建成时,5~25 mm和>25 mm堆肥残渣也将直接送往填埋场进行填埋处理。据调查数据,每吨生活垃圾焚烧处理约可发电 $287 \text{ kW}\cdot\text{h}\cdot\text{d}$ 。

朝阳区进入大屯转运站的 $435 \text{ t}\cdot\text{d}^{-1}$ 垃圾,通过

国中堆肥处理中心前分选系统,其中 <80 mm 粒径生活垃圾进行堆肥处理,由于焚烧设施尚未建成,物资回收后的 >80 mm 粒径段生活垃圾及堆肥部分残渣被直接送入阿苏卫垃圾填埋场进行填埋. 朝阳区进入小武基转运站 $1\,440\text{ t}\cdot\text{d}^{-1}$ 的垃圾,经分选之后,

有 3 个流向, >80 mm 粒径将返回朝阳区高安屯焚烧厂进行焚烧处理,残渣在高安屯填埋场进行填埋; <15 mm 粒径段就近送到北神树垃圾填埋场进行填埋处理; 15~80 mm 粒径段转运南宫堆肥厂进行堆肥处理,最后残渣运往安定填埋场进行填埋.

表 4 原城四区垃圾处理处置物料平衡/ $\text{t}\cdot\text{d}^{-1}$ Table 4 MSW material balance of current MSW logistics/ $\text{t}\cdot\text{d}^{-1}$

项目	指标	马家楼	小武基	大屯	合计	占原生垃圾百分比/%
	垃圾量	590	1 860	2 015	4 465	100
	回收物	6	19	148	172	3.9
其它	渗滤液	15	47	56	117	2.6
	焚烧厂名称	—	高安屯	—	—	—
	原生垃圾	—	508	—	508	11.4
焚烧	堆肥 >25 mm 产物	—	—	—	—	—
	焚烧总量	—	508	—	508	11.4
	发电量 $\times 10^4/\text{kW}\cdot\text{h}\cdot\text{d}^{-1}$	—	15	—	15	—
	堆肥厂名称	南宫	南宫	国中	—	—
	原生垃圾	309	974	1 179	2 462	55.1
	堆肥损失	139	438	491	1 068	23.9
	堆肥产品	77	243	217	538	12.0
	填埋场名称	安定	高安屯、安定和北神树	阿苏卫	—	—
	原生垃圾	261	313	632	1 205	27.0
填埋	焚烧残渣	—	102	—	102	2.3
	堆肥残渣	93	292	472	856	19.2
	填埋总量	353	707	1 103	2 163	48.4

由上述分析可知,3 个转运站日预处理生活垃圾总量为 4 465 t,为满负荷 $5\,800\text{ t}\cdot\text{d}^{-1}$ 的 77%,经预处理后的生活垃圾按不同粒径分别进入相应的末端处理处置设施. 由于具备相对健全的生活垃圾处理处置设施,原城四区生活垃圾资源化水平已经为北京市资源化水平最高的区域,在考虑朝阳区依托小武基转运站进行部分生活垃圾预处理同时,依托三大转运站处理的 $4\,465\text{ t}\cdot\text{d}^{-1}$ 的生活垃圾末端处理处置中焚烧:生化:填埋为 1:4.8:4.2,由此看出现状条件下,生活垃圾处理结构不合理,比例不协调. 与实现北京市政府 2015 年北京市生活垃圾焚烧、堆肥和填埋比率达到 4:3:3 目标仍有较大距离,有必要减少垃圾填埋量,增加焚烧比例.

2.2 东西城区生活垃圾新物流方案

2.2.1 东西城区生活垃圾新物流方案规划

本研究采用 GIS 软件确定原 4 个城区分属的 3

个转运站的 最佳服务范围. 新物流方案规划方法在文章中 1.2.3 节已经详细阐述,依据此方法在转运站服务范围划分的同时考虑城区边界,以便于生活垃圾清运管理. 3 个转运站等距离物流规划方案示意图见图 2.

新物流方案下转运站生活垃圾来源及清运量如表 5 所示. 垃圾物流重新规划后,马家楼转运站除接收原宣武区的垃圾外,还可以接收 $440\text{ t}\cdot\text{d}^{-1}$ 原西城区的垃圾,新增加 21 个密闭清洁站,可比现状清运距离减少约 $47.2 \times 10^4\text{ km}\cdot\text{a}^{-1}$,节省率为 23.6%. 小武基转运站与现状相比,多接收 $150\text{ t}\cdot\text{d}^{-1}$ 原东城区生活垃圾,新覆盖 12 个密闭清洁站,可比现状清运距离减少约为 $61.4 \times 10^4\text{ km}\cdot\text{a}^{-1}$,节省约为 16.4%. 大屯转运站接收部分原西城区、原东城区垃圾. 现状情况下,原城四区生活垃圾每年清运距离为 923 km,等距离物流新规划后每年清运距离可

表 5 基于等距离物流和跨区方案下生活垃圾来源与清运量/ $\text{t}\cdot\text{d}^{-1}$ Table 5 MSW source and quantity of new MSW logistics/ $\text{t}\cdot\text{d}^{-1}$

转运站	西城区		东城区		跨区补偿			合计
	原西城区	原宣武区	原东城区	原崇文区	朝阳区	丰台区	海淀区	
马家楼	440	590	—	—	—	970	或 970	2 000
小武基	—	—	150	420	1 430	—	—	2 000
大屯	450	—	540	—	810	—	或 810	1 800

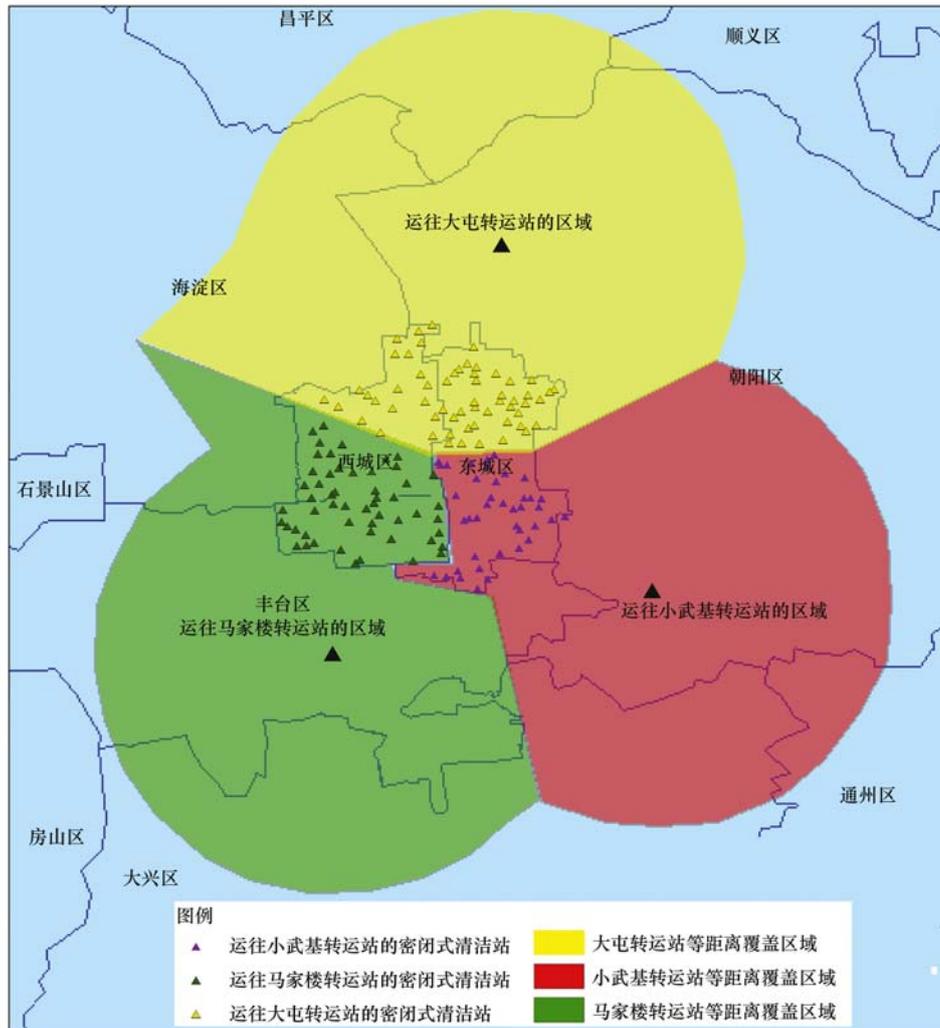


图 2 转运站等距离物流规划方案

Fig. 2 MSW collection destination of New MSW logistics

减少到 830 km, 节省清运距离 10%。

三大转运站跨区补偿方案如表 6 所示。跨区条件下, 清运距离最短是唯一的指标, 在此目标下, 距离马家楼转运站清运距离最短的是丰台区, 小武基转运站为朝阳区, 大屯转运站为朝阳区。而海淀区均因距离马家楼和大屯转运站较远, 作为第二跨区选择。

由表 6 可以看出, 马家楼转运站亏缺 970 t·d⁻¹ 的垃圾, 亏缺部分若由丰台区提供, 可服务 118 个密

闭清洁, 与不跨区相比, 可节省清运距离 171.5 × 10⁴ km·a⁻¹; 小武基转运站, 亏缺量为 1 440 t·d⁻¹, 可由朝阳区提供这部分亏缺量, 共涵盖 107 个密闭清洁站的垃圾, 与不跨区相比, 可节省清运距离 366.7 × 10⁴ km·a⁻¹。大屯转运站亏缺量为 810 t·d⁻¹, 若由朝阳区提供, 涵盖 56 个密闭清洁站, 与不跨区相比, 可节省清运距离 304.7 × 10⁴ km·a⁻¹。跨区处理在很大程度上减少了生活垃圾清运距离。

表 6 转运站生活垃圾跨区补偿方案

Table 6 Transregional sources of MSW based on transfer stations

转运站名称	马家楼		小武基		大屯	
补偿区	丰台	海淀	朝阳	朝阳	朝阳	海淀
垃圾量/t·d ⁻¹	970	970	1 430	810	810	810
密闭清洁站覆盖数/个	118	74	107	56	62	62
原清运距离 × 10 ⁴ /km·a ⁻¹	375	130.7	730.5	422.1	273.4	273.4
新清运距离 × 10 ⁴ /km·a ⁻¹	203.5	474	363.8	117.4	278.5	278.5
节省距离 × 10 ⁴ /km·a ⁻¹	171.5	-343.3	366.7	304.7	-5.1	-5.1

2.2.2 东西城区生活垃圾优化物流方案物料平衡

基于新东西城区和部分跨区条件下,小武基、马家楼和大屯这 3 个转运站满负荷运转可达到 $5\,800\text{ t}\cdot\text{d}^{-1}$ 的规模. 到 2015 年在阿苏卫、南宫、大工村将陆续建设 3 座垃圾焚烧厂. 为此,表 7 为进一步考虑焚烧设施建设前后生活垃圾物料平衡. 3 座焚烧设施建成后,原生垃圾焚烧规模为

$1\,900\text{ t}\cdot\text{d}^{-1}$, 约占垃圾总量 33.2%, 相比现状 8.8% 的比例,提高了 24 个百分点. 原生垃圾填埋量下降为 $408\text{ t}\cdot\text{d}^{-1}$, 约占垃圾总量 7%, 相比现状 32% 的比例,降低了 25 个百分点. 因此,焚烧设施的建成,最显著的效果是大幅度降低原生生活垃圾填埋量,显著延长填埋场使用寿命,提高资源化利用率.

表 7 优化方案生活垃圾处理处置物料平衡/ $\text{t}\cdot\text{d}^{-1}$

Table 7 MSW material balance of new MSW logistics/ $\text{t}\cdot\text{d}^{-1}$

项目 指标	焚烧设施不全-现状					焚烧设施完善-发展后					
	马家楼	小武基	大屯	合计	占原生垃圾百分比/%	马家楼	小武基	大屯	合计	占原生垃圾百分比/%	
垃圾量	2 000	2 000	1 800	5 800	100	2 000	2 000	1 800	5 800	100	
其他	回收物	20	20	132	172	3.00	20	20	132	172	3.00
	渗滤液	50	50	50	150	2.60	50	50	50	150	2.60
焚烧	焚烧厂名称	—	高安屯	—	—	—	南宫	高安屯	阿苏卫	—	—
	原生垃圾	—	508	—	508	8.80	706	706	511	1 923	33.20
	堆肥 > 25 mm	—	—	—	—	—	241	241	284	766	13.20
	焚烧总量	—	508	—	508	8.80	947	947	795	2 689	46.40
发电量 $\times 10^4/\text{kW}\cdot(\text{h}\cdot\text{d})^{-1}$	—	15	—	15	0.30	27	27	23	77	1.30	
堆肥	堆肥厂名称	南宫	南宫	国中	—	—	南宫	南宫	国中	—	—
	原生垃圾	1 047	1 047	1 054	3 147	54.30	1 047	1 047	1 054	3 147	54.30
	堆肥损失	471	471	438	1 380	28.00	471	471	438	1 380	23.80
	堆肥产品	262	262	194	717	12.40	262	262	194	717	12.40
填埋	填埋场名称	安定	高安屯、安定、北神树	阿苏卫	—	—	安定	高安屯、安定、北神树	阿苏卫	—	—
	原生垃圾	883	375	564	1 822	31.30	177	177	54	408	7.00
	焚烧残渣	—	102	—	102	1.80	189	189	159	538	9.30
	堆肥残渣	314	314	421	1 050	18.10	73	73	137	284	4.90
	填埋总量	1 197	790	986	2 973	51.30	440	440	350	1 229	21.20

新东西城区生活垃圾现状物流下,基于三大转运站进行预处理的 $4\,465\text{ t}\cdot\text{d}^{-1}$ (原城四区 $2\,590\text{ t}\cdot\text{d}^{-1}$,朝阳区部分跨区处理 $1\,875\text{ t}\cdot\text{d}^{-1}$) 生活垃圾焚烧、生化、填埋比例为 1:4.8:4.2. 与北京市 2012 年目标 2:3:5 相比,生化处理已经超过目标 30%,且基本为堆肥处理,填埋处理降低到目标 50% 的比例. 但与 2015 年 4:3:3 目标相比,填埋比例仍略高,焚烧比例过小. 优化方案与现状相比,由于考虑跨区处理,可实现三大转运站满负荷 $5\,800\text{ t}\cdot\text{d}^{-1}$ 的生活垃圾处理量. 与现状相比,垃圾处理量增加 $1\,335\text{ t}\cdot\text{d}^{-1}$, 现状情况下,此 $1\,335\text{ t}\cdot\text{d}^{-1}$ 的生活垃圾基本全部为填埋处理,在现状条件下若考虑 $5\,800\text{ t}\cdot\text{d}^{-1}$ 的生活垃圾处理量,其焚烧、生化、填埋比例为 0.7:4.4:4.9, 填埋比例过高. 在实行新物流后, $5\,800\text{ t}\cdot\text{d}^{-1}$ 生活垃圾焚烧、生化、填埋比例为 0.8:4.7:4.5, 与现状相比,填埋比例有所下降,增加了堆肥产品. 物流优化且焚烧设施建成后,焚烧、生化、填埋比例为 3.8:4.5:1.7, 达到 2:3:5 的目标

要求,与 4:3:3 目标相比,焚烧比例基本接近,生活垃圾填埋处理低于目标要求 30%,生化处理对生活垃圾资源化处理贡献率最大.

3 结论

(1) 基于满负荷 (共计 $5\,800\text{ t}\cdot\text{d}^{-1}$) 的大屯、马家楼和小武基这 3 座转运站等距垃圾清运优化方案年可节省清运距离 $92.7 \times 10^4\text{ km}\cdot\text{a}^{-1}$, 与现状相比减少约 10%.

(2) 在垃圾等距离清运优化方案下,马家楼、小武基、大屯转运站亏缺量分别为 970、1 430、810 $\text{t}\cdot\text{d}^{-1}$, 按最近距离考虑,马家楼可由丰台区跨区清运,小武基和大屯均可由朝阳区跨区供给.

(3) 在满足三大转运站满负荷运转和等距离收集以及现状无焚烧方案下,末端焚烧、生化处理和卫生填埋三者比例为 0.8:4.7:4.5. 而筹建的 3 座焚烧设施建成后,焚烧、生化处理和卫生填埋比例可达到 3.8:4.5:1.7, 基本接近北京市 2015 年生活

垃圾规划的4:3:3目标. 为了实现40%的焚烧处理目标,在未来几年内,有必要对北京市现行垃圾收集转运及处理处置模式进行调整,进一步加快焚烧处理设施的建设速度.

参考文献:

- [1] 叶凯贞. 城市生活垃圾处理式的思考[J]. 环境卫生工程, 2007, **15**(5): 19-20.
- [2] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴 2011[EB/OL]. <http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2011/index.htm>, 2011-09.
- [3] 丁湘蓉. 北京市生活垃圾现状与垃圾堆肥应用潜力研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2003.
- [4] 刘长礼, 张云, 张凤娥, 等. 北京某垃圾处置场对地下水的污染[J]. 地质通报, 2003, **22**(7): 531-535.
- [5] Anderson L E, Nigam A. A mathematical model for the optimization of a waste management system[R]. University of California at Berkeley, Sanitary Engineering Research Laboratory, SERL Report, 1968. (68-1).
- [6] Anderson D. GIS Supports Garbage Hauler Franchising[J]. GIS World, 1992, **5**(5): 36-38.
- [7] Eiselt H A, Gendreau M, Laporte G. Arc routing problems, part I: The Chinese postman problem[J]. Operations Research, 1995, **43**(2): 231-242.
- [8] Modares A, Somhom S, Enkawa T. A self-organizing neural network approach for multiple traveling salesman and vehicle routing problems[J]. International Transactions in Operational Research, 1999, **6**(6): 591-606.
- [9] Laporte G, Gendreau M, Potvin J Y, et al. Classical and modern heuristics for the vehicle routing problem[J]. International Transactions in Operational Research, 2000, **7**(4-5): 285-300.
- [10] Ruiz R, Maroto C, Alcaraz J. A decision support system for a real vehicle routing problem[J]. European Journal of Operational Research, 2004, **153**(3): 593-606.
- [11] Eiselt H A, Gendreau M, Laporte G. Arc routing problems, part II: The rural postman problem[J]. Operations Research, 1995, **43**(3): 399-414.
- [12] Angelelli E, Grazia Speranza M. The periodic vehicle routing problem with intermediate facilities[J]. European Journal of Operational Research, 2002, **137**(2): 233-247.
- [13] Mourão M C, Almeida M T. Lower-bounding and heuristic methods for a refuse collection vehicle routing problem[J]. European Journal of Operational Research, 2000, **121**(2): 420-434.
- [14] Amberg A, Domschke W, Voß S. Multiple center capacitated arc routing problems: A tabu search algorithm using capacitated trees[J]. European Journal of Operational Research, 2000, **124**(2): 360-376.
- [15] Alagöz A Z, Kocasoy G. Improvement and modification of the routing system for the health-care waste collection and transportation in Istanbul[J]. Waste Management, 2008, **28**(8): 1461-1471.
- [16] El-Hamouz A M. Logistical management and private sector involvement in reducing the cost of municipal solid waste collection service in the Tubas area of the West Bank[J]. Waste Management, 2008, **28**(2): 260-271.
- [17] Gottinger H W. A computational model for solid waste management with application[J]. European Journal of Operational Research, 1988, **35**(3): 350-364.
- [18] Emery A, Davies A, Griffiths A, et al. Environmental and economic modelling: A case study of municipal solid waste management scenarios in Wales[J]. Resources, Conservation and Recycling, 2007, **49**(3): 244-263.
- [19] 盛金良, 曹春华. 城市生活垃圾收运模式设计[J]. 环境卫生工程, 2000, **8**(2): 85-87.
- [20] 王志刚, 陈新庚, 张淑娟. 城市生活垃圾小型转运设施设置实例研究[J]. 环境卫生工程, 2000, **8**(2): 47-49.
- [21] 孙家珊, 乔晓时, 夏爱萍. 垃圾转运站的地位及作用[J]. 环境卫生工程, 1998, **6**(4): 156-159.
- [22] 李东, 何永全. 城市生活垃圾清运车辆的技术经济比较[J]. 环境卫生工程, 2000, **8**(4): 155-156.
- [23] 刘桐武, 刘兆龙. 线性规划在城市垃圾运输中的应用[J]. 环境卫生工程, 1996, **4**(2): 22-27.
- [24] 王志刚, 陈新庚, 陈炳禄, 等. 广州市城市生活垃圾管理系统规划[J]. 环境污染与防治, 2001, **23**(1): 4-7.
- [25] 陈炳禄, 王志刚, 陈新庚. 广州市生活垃圾处理方式及物流管理方案优化[J]. 上海环境科学, 2000, **19**(11): 511-515.

CONTENTS

PUF Passive Air Sampling of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Atmosphere of the Yangtze River Delta, China: Spatio-Temporal Distribution and Potential Sources	ZHANG Li-fei, YANG Wen-long, DONG Liang, <i>et al.</i> (3339)
Quantitative Analysis of Nitrate in Atmospheric Particulates PM _{2.5} with Fourier Transform Infrared Spectroscopy	LIU Na, WEI Xiu-li, GAO Min-guang, <i>et al.</i> (3347)
Study on Contribution Factor to Atmospheric ·OH by O ₃ , HONO, HCHO and H ₂ O ₂ in Spring at Mangdang Mountain, Fujian Province	LIU Hao, WANG Hui-xiang (3352)
A Review on Current Situations of Steroid Estrogen in the Water System	DU Shao-ting, JIN Chong-wei, LIU Yue (3358)
A Study on the Veterinary Antibiotics Contamination in Groundwater of Jiaying	LÜ Xing, YU Wei-juan, LAN Ya-qiong, <i>et al.</i> (3368)
Contamination Characteristics of Short-Chain Chlorinated Paraffins in Edible Fish of Shanghai	JIANG Guo, CHEN Lai-guo, HE Qiu-sheng, <i>et al.</i> (3374)
Detection of Endotoxin Activity in Water Environment and Analysis of Influence Factors for TAL Assay	ZHANG Can, LIU Wen-jun, ZHANG Ming-lu, <i>et al.</i> (3381)
Cellular Response of Freshwater Green Algae to the Toxicity of Tetracycline Antibiotics	XU Dong-mei, WANG Yan-hua, RAO Gui-wei (3386)
Illumination's Effect on the Growth and Nitrate Reductase Activity of Typical Red-Tide Algae in the East China Sea	LI Hong-mei, SHI Xiao-yong, DING Yan-yan, <i>et al.</i> (3391)
Compare the Growth of <i>Enteromorpha prolifera</i> Under Different Nutrient Conditions	PANG Qiu-ting, LI Feng, LIU Xiang-qing, <i>et al.</i> (3398)
Phytoplankton Pigment Patterns and Community Structure in the Yangtze Estuary and Its Adjacent Areas	LAI Jun-xiang, YU Zhi-ming, SONG Xiu-xian, <i>et al.</i> (3405)
Genetic Diversity of Picoeukaryotic Phytoplankton in the Lakes Along the Middle-lower Reaches of the Yangtze River	LI Sheng-nan, SHI Xiao-li, XIE Wei-wei, <i>et al.</i> (3416)
Studies on Seasonal Variation and Sources of Nitrogen and Phosphorus in a Canyon Reservoir Used as Water Source	HUANG Ting-lin, QIN Chang-hai, LI Xuan (3423)
Characteristics of Sediment Phosphorus in the Jiulong River-Reservoir System and Its Ecological Significance	LU Ting, CHEN Neng-wang, CHEN Zhu-hong, <i>et al.</i> (3430)
Variation of Nitrogen During the High Suspended Sediments Concentration Water Supply in an Artificial Shallow Lake	CHEN You-yuan, SHEN Yu, YANG Shi-ying (3437)
Limestone and Pyrite-Limestone Constructed Wetlands for Treating River Water	ZHANG Jing, LI Rui-hua, LI Jie, <i>et al.</i> (3445)
Dynamics of Carbon, Nitrogen and Phosphorus Storage of Three Dominant Marsh Plants in Hangzhou Bay Coastal Wetland	SHAO Xue-xin, LI Wen-hua, WU Ming, <i>et al.</i> (3451)
Dissolved Organic Matter Release of <i>Zizania caduciflora</i> and <i>Phragmites australis</i> from Lake Dianchi	XIE Li, YANG Hao, QU Xiao-xia, <i>et al.</i> (3458)
Influence of Tap Water Treatment on Perfluorinated Compounds Residue in the Dissolved Phase	ZHANG Hong, CHEN Qing-wu, WANG Xin-xuan, <i>et al.</i> (3467)
Study on Chlorinated Disinfection Byproducts and the Relevant Health Risk in Tap Water of J City	LI Xiao-ling, LIU Rui, LAN Ya-qiong, <i>et al.</i> (3474)
Effect of the Change in Sulphate and Dissolved Oxygen Mass Concentration on Metal Release in Old Cast Iron Distribution Pipes	WU Yong-li, SHI Bao-you, SUN Hui-fang, <i>et al.</i> (3480)
Research on Low-level Hg(II) Removal from Water by the Heavy Metal Capturing Agent	HU Yun-jun, SHENG Tian-tian, XUE Xiao-qin, <i>et al.</i> (3486)
Coagulation Characteristics of Polyferric Chloride-Poly (Epiclorohydrin-Dimethylamine) Composite Flocculant for Simulated Water Treatment	LIU Xin-xin, YANG Zhong-lian, GAO Bao-yu, <i>et al.</i> (3493)
Microstructure Morphology and Flocculation Mechanism of the Decolorizing Flocculant Poly-aluminum(III)-magnesium(II)-sulfate	SANG Yi-min, CHANG Xue-hong, CHE Yue, <i>et al.</i> (3502)
Efficient Degradation of Tetrabromobisphenol A in Water by Co-doped BiFeO ₃	OUYANG Lei, DING Yao-bin, ZHU Li-hua, <i>et al.</i> (3507)
Preparation Bimetallic Heterogeneous Fenton-Like Catalyst as Sepiolite Supported and Its Surface Chemical Characterization	SU Cheng-yuan, LI Wei-guang, LIU Xing-zhe, <i>et al.</i> (3513)
Nitrite Denitrification Characteristics with Redox Mediator	ZHAO Li-jun, MA Zhi-yuan, GUO Yan-kai, <i>et al.</i> (3520)
Advanced Nitrogen Removal Using Innovative Denitrification Biofilter with Sustained-Release Carbon Source Material	TANG Lei, LI Peng, ZUO Jian-e, <i>et al.</i> (3526)
N ₂ O Production in Nitrogen Removal by Micro-expansion of Granular Sludge	CHEN Li-li, GAO Da-wen (3532)
Sludge Dewaterability with Combined Conditioning Using Fenton's Reagent and CPAM	MA Jun-wei, LIU Jie-wei, CAO Rui, <i>et al.</i> (3538)
Kinetic Characteristics of High-rate ANAMMOX Granules	TANG Chong-jian, XIONG Lei, WANG Yun-yan, <i>et al.</i> (3544)
Monitoring Nitrogen Deposition on Temperate Grassland in Inner Mongolia	ZHANG Ju, KANG Rong-hua, ZHANG Bin, <i>et al.</i> (3552)
Non-Point Loads of Soluble Cadmium by <i>in situ</i> Field Experiment with Different Landuses, in Central Hunan Province Mining Area	LIU Xiao-li, ZENG Zhao-xia, CHEN Zhe, <i>et al.</i> (3557)
Heavy Metal Speciation and Stability in the Sediment of Lihu Lake	WANG Shu-hang, WANG Wen-wen, JIANG Xia, <i>et al.</i> (3562)
Analysis and Evaluation of Heavy Metals Along the Chaohe River in Miyun County	YU Yang, GAO Hong-chao, MA Jun-hua, <i>et al.</i> (3572)
Magnetic Properties of Topsoils in Typical Industrial Belt Along the Yellow River in Arid Regions in Northwest China and Their Environmental Significance	XU Shu-jing, ZHANG Ying, YU Ye, <i>et al.</i> (3578)
Study on Composite Stabilization of Arsenic (As) Contaminated Soil	WANG Hao, PAN Li-xiang, ZHANG Xiang-yu, <i>et al.</i> (3587)
Heavy Metal Contents and Enrichment Characteristics of Dominant Plants in a Lead-Zinc Tailings in Xiashuiwan of Hunan Province	HE Dong, QIU Bo, PENG Jin-hui, <i>et al.</i> (3595)
Comparison of Soil Fertility Among Open-pit Mine Reclaimed Lands in Antaibao Regenerated with Different Vegetation Types	WANG Xiang, LI Jin-chuan, YUE Jia-ning, <i>et al.</i> (3601)
Biodegradation of Triphenyltin and Its Effect on <i>Klebsiella pneumoniae</i>	YE Jin-shao, TIAN Yun, YIN Hua, <i>et al.</i> (3607)
Isolation and Degradation Characteristics of Dichloromethane-Degradation Bacterial Strain by <i>Methylobacterium rhodesianum</i> H13	LIU Hong-xia, ZHU Run-ye, OUYANG Du-juan, <i>et al.</i> (3613)
Effect of Different Primers on Microbial Community of Activated Sludge	XU Ai-ling, WU Deng-deng, SONG Zhi-wen, <i>et al.</i> (3620)
Reaction of SO ₂ over CaAl Mixed Oxides Derived from Hydrotalcites Samples	CAO Lin, WANG Hai-lin, XIE Qiang (3627)
Optimization for MSW Logistics of New Xicheng and New Dongcheng Districts in Beijing Based on the Maximum Capacity of Transfer Stations	YUAN Jing, LI Guo-xue, ZHANG Hong-yu, LUO Yi-minget <i>al.</i> (3633)
Application of Multiple Lines of Evidence Analysis Technology in the Assessment of Sites Contaminated by Heavy Metals	JIANG Lin, ZHONG Mao-sheng, ZHU Xiao-yong, <i>et al.</i> (3641)
Heavy Metals and Their Sources in Outdoor Settled Dusts in Different Function Areas of Cities	LI Xiao-yan, LIU Yan-qing (3648)
Study on Distribution Characteristics and Potential Ecological Risk of Soil Heavy Metals in the Yellow River Beach Region in Kaifeng City	ZHANG Peng-yang, QIN Ming-zhou, YAN Jiang-hong, <i>et al.</i> (3654)
Study on Pollution Evaluation of Heavy Metal in Surface Soil of the Original Site of Qingdao North Station	ZHU Lei, JIA Yong-gang, PAN Yu-ying (3663)
Distribution Characteristics and Ecological Risk of Pb in Soils at a Lead Battery Plant	ZHENG Li-bao, CHEN Wei-ping, JIAO Wei-tao, <i>et al.</i> (3669)
Effect of Lead on Soil Quality and Human Health Around a Lead Smeltery	ZHOU Xiao-yong, LEI Mei, YANG Jun, <i>et al.</i> (3675)
Distribution Characteristics of Lead in Different Particle Size Fractions of Surface Soil of a Lead-acid Battery Factory Contaminated Site	YUE Xi, SUN Ti-chang, HUANG Jin-lou (3679)
Research on the Application of <i>In-situ</i> Biological Stabilization Solidification Technology in Chromium Contaminated Site Management	ZHANG Jian-rong, LI Juan, XU Wei (3684)
Research on the Effect and Technique of Remediation for Multi-Metal Contaminated Tailing Soils	ZHU Guang-xu, GUO Qing-jun, YANG Jun-xing, <i>et al.</i> (3690)
Analysis of Washing Efficiency and Change in Lead Speciation in Lead-contaminated Soil of a Battery Factory	REN Bei, HUANG Jin-lou, MIAO Ming-sheng (3697)
Remediation Efficiency of Lead-Contaminated Soil at an Industrial Site by Ultrasonic-assisted Chemical Extraction	WANG Xin-jie, HUANG Jin-lou, LIU Zhi-qiang, <i>et al.</i> (3704)
Parameters Optimization and Cleaning Efficiency Evaluation of Attrition Scrubbing Remediation of Pb-Contaminated Soil	YANG Wen, HUANG Jin-lou, PENG Hui-qing, <i>et al.</i> (3709)
Adsorption of Cd ²⁺ on Biochar from Aqueous Solution	GUO Wen-juan, LIANG Xue-feng, LIN Da-song, <i>et al.</i> (3716)
Effect of Inorganic Amendments on the Stabilization of Heavy Metals in Contaminated Soils	CAO Meng-hua, ZHU Xi, LIU Huang-cheng, <i>et al.</i> (3722)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2013年9月15日 34卷 第9期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 9 Sep. 15, 2013

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行