

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第4期

Vol.33 No.4

2012

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

碳同位素比技术定量估算城市大气 CO ₂ 的来源	刘卫, 位楠楠, 王广华, 姚剑, 曾友石, 范雪波, 耿彦红, 李燕 (1041)
广州大气降水中稳定同位素对 2008 年初华南地区冰雪灾害期间水汽来源的反映	廖聪云, 钟巍, 马巧红, 薛积彬, 尹焕玲, 龙昆 (1050)
北京雾霾天气期间气溶胶光学特性	于兴娜, 李新妹, 登增然登, 德庆央宗, 袁帅 (1057)
白马泉风景区夏季大气 PM _{2.5} 中二次有机物的初步研究	代东决, 李黎, 刘子芳, 赵敏, 冯加良, 赖玮, 曾燕梅, 周宇, 刘露云, 邓仕槐 (1063)
机动车尾气排放 VOCs 源成分谱及其大气反应活性	乔月珍, 王红丽, 黄成, 陈长虹, 苏雷燕, 周敏, 徐骅, 张钢锋, 陈宜然, 李莉, 陈明华, 黄海英 (1071)
法国梧桐叶片氮含量及氮同位素对城市大气湿沉降氮的响应研究	王燕丽, 肖化云, 肖红伟 (1080)
胶州湾及邻近海域表层海水中一氧化氮浓度分布及其影响因素探讨	薛超, 刘春颖, 杨桂朋, 祝陈坚, 张洪海 (1086)
基于不确定性分析的太湖水体多环芳烃的生态风险评价	郭广慧, 吴丰昌, 何宏平, 冯承莲, 张瑞卿, 李会仙 (1091)
流域水质时空分布特征及其影响因素初析	黄金良, 黄亚玲, 李青生, 周增荣, 冯媛, 张祯宇 (1098)
潮白河周丛生物群落元素组成与水质变化的生态计量学关系研究	崔经国, 单保庆, 王帅 (1108)
春季盘溪水质日变化规律及水质评价	张千千, 王效科, 郝丽岭, 逯非, 欧阳志云, 侯培强 (1114)
西南喀斯特流域风化作用季节性变化研究	肖琼, 沈立成, 杨雷, 伍坤宇, 陈展图 (1122)
三峡水库开县消落区水域冬季蓄水期间藻类群落结构与水质评价	郭劲松, 谢丹, 李哲, 陈园, 孙志禹, 陈永柏, 龙曼 (1129)
淀山湖水华高发期浮游植物群落变化特征研究	徐春燕, 杨洁, 马明睿, 胡雪芹, 由文辉 (1136)
三峡库区典型消落带草本植物氮磷养分浸泡释放实验	王建超, 朱波, 汪涛, 易礼军 (1144)
沂蒙山区典型小流域特殊降雨的磷素输出特征	李振伟, 于兴修, 刘前进, 井光花 (1152)
合肥城区地表灰尘氮磷形态分布及生物有效性	李如忠, 周爱佳, 童芳, 李峰, 钱家忠 (1159)
鹤地水库沉积物营养盐及重金属分布和污染特征分析	张华俊, 陈修康, 韩博平, 罗勇, 杨浩文, 曾艳, 陈敬安 (1167)
三门峡库区河流湿地沉积物重金属赋存形态和风险评价	敖亮, 单保庆, 张洪, 唐文忠 (1176)
黄河三角洲滨海湿地表层沉积物重金属区域分布及生态风险评价	刘志杰, 李培英, 张晓龙, 李萍, 朱龙海 (1182)
竺山湾重金属污染底泥环保疏浚深度的推算	姜霞, 王雯雯, 王书航, 金相灿 (1189)
雷州近海、流沙湾和深圳湾沉积物 PAHs 污染特征分析	赵利容, 孙省利, 柯盛 (1198)
中国与印度典型城市道路街尘中多环芳烃与黑碳的对比研究	潘苏红, 张千, 孙亚莉, 解启来 (1204)
三江平原典型灌区井灌地下水中铁的随水迁移特征	邹元春, 于晓菲, 霍莉莉, 吕宪国, 姜明 (1209)
海水淡化水在既有管网输配的铁释放控制研究	田一梅, 刘扬, 赵鹏, 单金林, 杨所印, 刘伟 (1216)
新生态铁的混凝作用探索	杨雪, 张景成, 关小红 (1221)
饮用水中甲羟孕酮的臭氧氧化降解研究	岳婵媛, 缪恒锋, 任洪艳, 阮文权 (1227)
核壳式磁性碳纳米吸附剂的制备及其对水环境中金霉素的吸附研究	王懿萱, 张娣, 牛红云, 孟昭福, 蔡亚岐 (1234)
络合-超滤耦合工艺去除水中镍离子的研究	秦妹, 邵嘉慧, 何义亮, 李雯玺 (1241)
赤铁矿光助类 Fenton 降解有毒有机污染物	张钰, 顾彦, 杨慧, 何燕, 李瑞萍, 黄应平, 张爱清 (1247)
掺氮 Ta ₂ O ₅ 诱发可见光-类 Fenton 体系降解阿特拉津研究	赵璐, 邓一荣, 杜瑛珣, 傅翔 (1252)
O ₃ /H ₂ O ₂ 降解水中扑灭通效能研究	李绍峰, 孙楚 (1260)
Pr-N 共掺杂 TiO ₂ 光电催化降解孔雀石绿动力学	沙爽, 周少奇, 张小娜, 周晓 (1267)
铜陵相思谷尾矿用于处理酸性矿山排水的实验研究	张楠, 陈天虎, 周跃飞, 黎少杰, 金杰, 王延明 (1272)
聚合铝铁对 A ² /O 系统 EPS 及生物絮凝性能的影响	温沁雪, 刘爱翠, 陈志强, 施汉昌, 吕炳南 (1278)
温度对污水脱氮系统污染物去除效果及氧化亚氮释放的影响	张婷婷, 张建, 杨芳, 谢慧君, 胡振, 李一冉 (1283)
温度对厌氧氨氧化反应器脱氮效能稳定性的影响	李祥, 黄勇, 郑宇慧, 袁怡, 李大鹏, 潘杨, 张春蕾 (1288)
好氧颗粒污泥处理制糖工业废水厌氧出水的除磷特性研究	王硕, 于水利, 时文歆, 暴瑞玲, 衣雪松, 李建政 (1293)
除磷颗粒污泥系统中不同粒径颗粒的理化特性分析	李志华, 张玉蓉, 杨帆, 李胜, 姬晓琴 (1299)
利用氧化亚氮还原酶基因 (nosZ) 评价人工湿地系统中的反硝化菌	王晓君, 陈少华, 张兆基, 肖俊超 (1306)
紫外诱变法提高好氧反硝化菌降解性能的研究	于佳佳, 陈浚, 杨宣, 陈建孟 (1313)
1 株异养硝化菌胞外聚合物的研究	陈哲, 张斌, 湛志强, 邱志刚, 郭迎庆, 李君文, 王景峰 (1318)
氨氮对稀有鮕鲫胚胎及卵黄囊期仔鱼的毒性效应研究	王志坚, 鲁增辉, 石萍 (1323)
多年蔬菜连作对土壤氨氧化微生物群落组成的影响	孟德龙, 杨扬, 伍延正, 吴敏娜, 秦红灵, 朱亦君, 魏文学 (1331)
生物质炭施用对土壤中氯虫苯甲酰胺吸附及消解行为的影响	王廷廷, 余向阳, 沈燕, 张超兰, 刘贤进 (1339)
水稻光合同化碳向土壤有机碳库输入的定量研究: ¹⁴ C连续标记法	聂三安, 周萍, 葛体达, 童成立, 肖和艾, 吴金水, 张杨珠 (1346)
油田污染土壤残油组成与特征参数分析	王坚, 张旭, 李广贺 (1352)
挥发性氯代烃在湿润土壤中的平衡吸附研究	孟凡勇, 刘锐, 小林刚, 万梅, 余素林, 陈吕军 (1361)
田间土壤外源铜镍在小麦中的累积及其毒害研究	黄锦孙, 韦东普, 郭雪雁, 马义兵 (1369)
中国磷消费结构的变化特征及其对环境磷负荷的影响	马敦超, 胡山鹰, 陈定江, 李有润 (1376)
基于 3MRA 模型的填埋场安全填埋废物污染物阈值评估方法与应用研究	袁英, 席北斗, 何小松, 魏自民, 李鸣晓, 姜永海, 苏婧, 安达 (1383)
填埋垃圾初始含水率对渗滤液产量的影响及修正渗滤液产量计算公式	兰吉武, 詹良通, 李育超, 陈云敏 (1389)
生物反应器填埋场中邻苯二甲酸二丁酯的迁移转化	方程冉, 龙於洋, 沈东升 (1397)
岩溶区峰丛洼地植被指数的克里格分析	杨奇勇, 蒋忠诚, 马祖陆, 曹建华, 罗为群, 李文军, 段晓芳 (1404)
《环境科学》征订启事 (1062) 《环境科学》征稿简则 (1107) 信息 (1135, 1215, 1396)	

填埋垃圾初始含水率对渗滤液产量的影响及修正渗滤液产量计算公式

兰吉武^{1,2}, 詹良通^{1,2*}, 李育超^{1,2}, 陈云敏^{1,2}

(1. 浙江大学软弱土与环境土工教育部重点实验室, 杭州 310058; 2. 浙江大学岩土工程研究所, 杭州 310058)

摘要: 我国填埋场设计阶段, 渗滤液产量计算结果往往偏小。参照山谷型填埋场, 建立了一个长400 m, 宽500 m的水量平衡计算模型, 模型中垃圾体高50 m, 分5个填埋阶段, 每阶段填高10 m, 用时2 a, 共填埋10 a。利用该模型, 分阶段计算填埋垃圾初始含水率对渗滤液来源组成和总产量的影响。渗滤液总产量由降雨入渗量和垃圾自身渗滤液产量组成, 初始含水率越高, 垃圾自身渗滤液产量和渗滤液总产量越大, 垃圾自身渗滤液产量所占渗滤液总产量的比例也越高。当填埋垃圾初始含水率分别为27%、40%、50%和60%时, 日平均渗滤液总产量分别为272、583、823和1 063 $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$, 垃圾自身渗滤液产量分别为-144、168、408和647 $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ 。垃圾初始含水率高于50%时, 自身渗滤液产量占渗滤液总产量的比例超过50%, 成为渗滤液总产量的主要部分。目前中国规范中采用的渗滤液产量计算方法, 未考虑垃圾自身渗滤液产量, 当填埋垃圾初始含水率较高时, 计算结果偏小。基于上述水量平衡分析结果, 进一步提出了包括垃圾自身渗滤液产量的修正计算公式, 并通过2个大型中国南方填埋场的现场实测数据进行了验证。

关键词: 填埋场; 持水特性; 垃圾初始含水率; 田间持水量; 渗滤液产量

中图分类号: X33 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)04-1389-08

Impacts of Initial Moisture Content of MSW Waste on Leachate Generation and Modified Formula for Predicting Leachate Generation

LAN Ji-wu^{1,2}, ZHAN Liang-tong^{1,2}, LI Yu-chao^{1,2}, CHEN Yun-min^{1,2}

(1. Key Laboratory of Soft Soils and Geoenvironmental Engineering, Ministry of Education, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China; 2. Institute of Geotechnical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

Abstract: The amount of leachate generation rate in MSW landfills is often underestimated during design phase in China. A water balance model of a valley landfill, whose size is 400 m long, 500 m wide and 50 m thick, is created to investigate the influences of initial moisture content of waste on source and production of leachate. The 50 m thick waste mass is assumed to be 5 layers. Each layer is 10 m thick with a filling period of 2 years. The leachate mainly comes from precipitation and from squeezed pore water of waste. It is found that higher initial moisture content of waste leads to higher amounts of squeezed leachate and total leachate generation rate, and also results in a high ratio of squeezed leachate to total leachate generation rate. For the cases that the initial moisture contents of waste are 27%, 40%, 50%, and 60%, the amounts of total leachate generation rate are 272, 583, 823 and 1 063 $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$, respectively, and the amounts of squeezed leachate are -144, 168, 408, and 647 $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$, respectively. It is also found that when the initial moisture content of waste is greater than 50%, the squeezed leachate becomes the primary source of total leachate generation rate. However, the formula for predicting leachate generation rate used in the national code could not consider the contribution of squeezed leachate, this may cause a significant underestimation of leachate generation rate for the case having a high initial moisture content of waste. Based on the water balance analyses, a modified formula for predicting leachate generation rate, which includes the contribution of squeezed leachate is proposed. It is verified by consideration of the operational practices of two large-scale landfills in southern China.

Key words: landfill; moisture retention characteristic; initial moisture content of waste; field capacity; leachate generation rate

我国正在运行的很多填埋场都存在实际渗滤液产量高于设计值的问题,除了实际填埋规模增大等因素外,现行的渗滤液产量计算方法也是造成计算偏差的原因。上海市某主要填埋场计算渗滤液产量1 500 $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$,实际渗滤液产量近3 000 $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$;广州市某填埋场计算渗滤液产量1 000 $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$,实际渗滤液产量超过2 500 $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ 。实际运行时的渗滤液产量远高于设计值,造成渗滤液导排设施实际负

荷大,淤堵加快,导排能力降低;而导排能力不足又造成了堆体水位的雍高,带来稳定安全问题;同时,高渗滤液产量也超出了渗滤液处理站的额定处理能

收稿日期: 2011-06-11; 修订日期: 2011-09-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(50878194, 51010008); 中央高校基本科研业务费专项(2010XZZX001, 2010KYJD006); 苏州市科技支撑计划项目(520324)

作者简介: 兰吉武(1980~),男,博士研究生,主要研究方向为环境岩土工程, E-mail: lanjiwu@zju.edu.cn

* 通讯联系人, E-mail: zhanlt@zju.edu.cn

力,影响了填埋场的正常运行.因此,正确计算渗滤液产量,是设计合理的渗滤液导排设施,建设满足需求渗滤液处理站的基础.

从水量平衡的角度分析,填埋场渗滤液由降雨入渗水量和填埋垃圾自身产生水量两部分组成^[1-5].前者与当地降雨量和填埋场雨污分流状况有关,后者与填埋后垃圾中水的存在形式和持水能力变化有关.王学华等^[3]、黄志中等^[4]认为在进行渗滤液产量计算时,垃圾自身产生水量可以忽略.文献[6]中采用的浸出系数法,也只考虑了降雨入渗量.孙钊等^[2]指出,在进行渗滤液产量计算时,发达国家垃圾含水率低,忽略垃圾自身产生水量是合理的;而中国填埋场初始含水率高,不应忽略这部分水量,但没有提出具体的计算方法.

本研究基于对垃圾中水的存在形式、持水特性与析出机制的认识,建立水量平衡分析模型,对比计算了填埋垃圾初始含水率对垃圾自身产生水量和总渗滤液产量的影响.进一步提出了适用于中国高初始含水率垃圾的渗滤液产量修正计算公式,并利用实测数据进行了验证.

1 垃圾的含水及持水特性

1.1 水分存在形式

如图1所示,由于垃圾中存在大量有机物,水分存在形式与一般工程土不完全相同.除与一般工程土一样,部分水分以结合水、自由水的形式存在外,还有水分存在于有机质细胞内部,以胞内水的形式存在.



图1 垃圾中水分存在形式

Fig. 1 Mechanisms of moisture retention in MSW

中国垃圾一般有机质含量高,胞内水所占比例较高,其存在和转化规律直接影响了垃圾的持水特性.初始填埋时,胞内水无法在重力作用下运移,宏观上表现为垃圾持水能力强;但随压缩、降解的进行,胞内水逐渐释放,垃圾的持水能力降低,释放的水分在重力作用下运移、排泄,成为渗滤液的一部分.

在宏观表征垃圾的持水特性,进行填埋场水分平衡分析时,常用到初始含水率和田间持水量2个概念.下文基于国内外相关文献资料,总结了垃圾初始含水率、田间持水量的影响因素及取值范围.

1.2 垃圾初始含水率

垃圾初始含水率即为初始填埋垃圾水分质量(体积)与总质量(体积)的比值^[7].填埋垃圾的初始含水率主要与垃圾的组分有关,厨余、果皮等高含水率有机物所占比例高,则初始含水率就高.图2为中国填埋垃圾初始含水率统计,图3为欧美国家初始含水率统计.中国10个不同地区填埋垃圾的初始含水率在31%~61%范围内,平均值52%^[8-12].而欧美10个不同地区填埋垃圾的初始含水率在17%~35%范围内,平均值27%^[5,13-17,26-27].

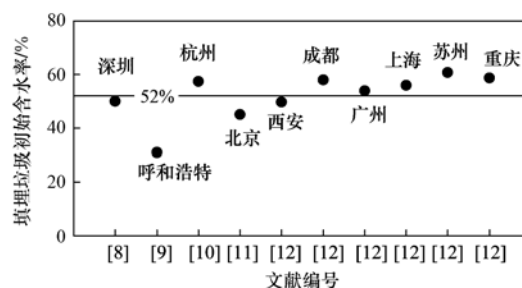


图2 中国填埋垃圾初始含水率

Fig. 2 Initial moisture content of MSWs in China

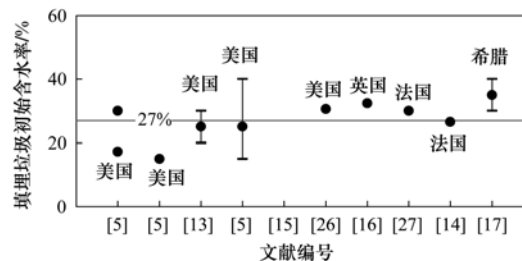


图3 欧美国家垃圾初始含水率

Fig. 3 Initial moisture content of MSWs in EU and USA countries

1.3 垃圾田间持水量

田间持水量是指在长时间重力排水条件下垃圾所能持有的含水率.当垃圾含水率大于田间持水量时,水分可以在重力条件下运移、排泄,产生渗滤液.当含水率小于田间持水量时,仅在重力排水条件下,垃圾含水率保持不变;而当有降雨入渗等外来水分补充时,垃圾能够吸收水分直至含水率达到田间持水量.

田间持水量是垃圾持水能力的宏观表现,其取值与垃圾中水分存在形式、组分特性和孔隙比等因

素有关. 由于无法在重力作用下运移, 因此胞内水含量越高, 田间持水量越高; 垃圾组分的亲水性越好、孔隙比越大, 田间持水量也越高. 填埋后的垃圾, 随着龄期增加, 垃圾中胞内水逐渐析出, 孔隙比变小, 田间持水量逐渐下降. Blight 等^[21]通过实测龄期分别为 1~7 a 的垃圾, 验证了垃圾田间持水量随龄期增大则降低的规律.

图 4 以垃圾干容重为横坐标, 汇总了国内外田间持水量研究资料^[13, 14, 18~22, 28]. 图 5 根据杭州天子岭填埋场、苏州七子山填埋场现场取样测试数据整理出的填埋垃圾干容重与填埋深度关系曲线^[23~25]. 结合图 4 及图 5, 可估算出填埋场不同深度、龄期填埋垃圾的田间持水量. 与初始含水率比较, 可计算填埋后垃圾自身产生(或吸收)水量.

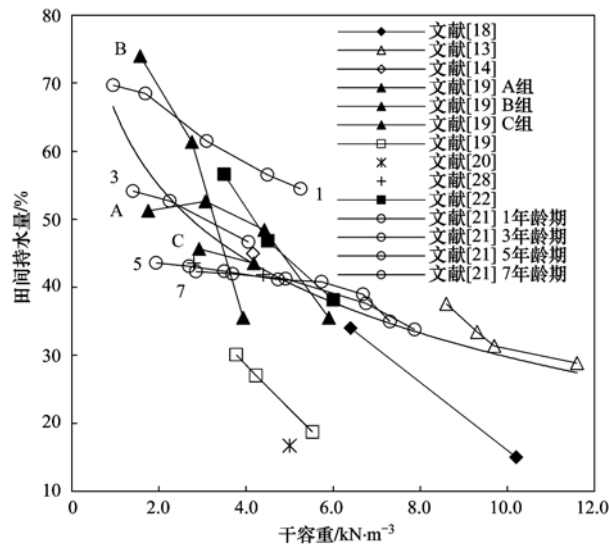


图 4 填埋垃圾田间持水量与干容重

Fig. 4 Field capacity of landfilled MSWs and dry unit weight

由图 4、图 5 可见, 中国垃圾与欧美垃圾填埋降解后, 田间持水量取值基本相同: 当干容重为

$6 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-3}$ 时, 取值接近于 37%; 当干容重为 $8 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-3}$ 时, 取值接近于 27%. 中国填埋垃圾初始含水率远大于降解后的田间持水量, 填埋后垃圾自身产生水量大. 欧美垃圾初始含水率低于或仅稍高于降解后垃圾的田间持水量, 填埋后会吸收一部分外来入渗水分或仅析出少量的渗滤液. 这应是中国填埋场渗滤液产量大, 堆体水位雍高, 水的问题更加突出的重要原因.

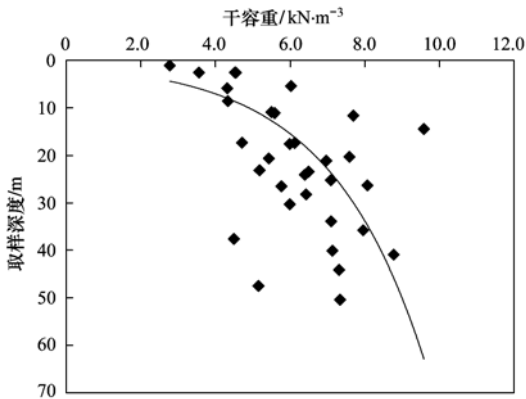


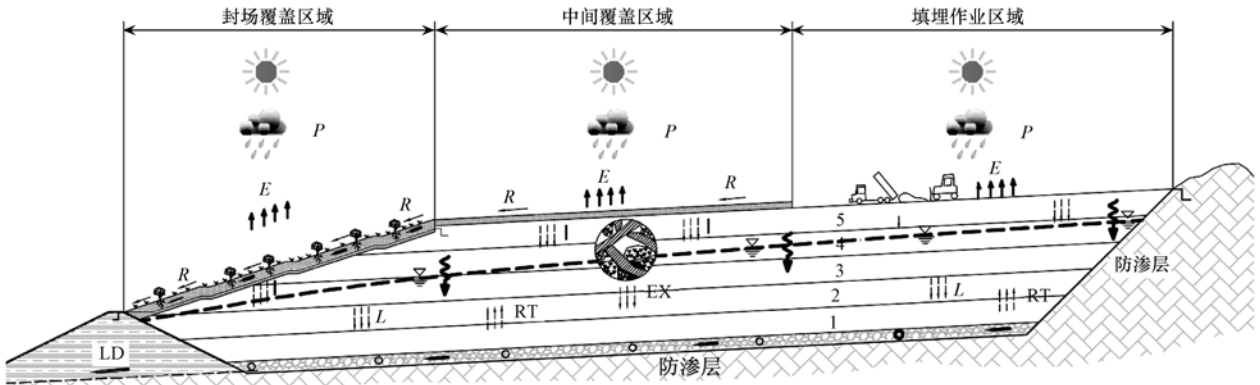
图 5 填埋垃圾干容重与填埋深度

Fig. 5 Dry unit weight of landfilled MSWs and burial depth

2 分阶段作业填埋场水量平衡分析模型及计算结果

2.1 分阶段作业填埋场水量平衡分析模型

本研究以山谷型填埋场作为参照, 建立如图 6 所示的水量平衡分析模型. 模型长 400 m, 高 50 m, 宽 500 m, 垃圾体分 5 层, 每层高 10 m. 模拟实际填埋过程, 每 2 a 堆高 1 层, 共填埋 10 a. 每填埋一层作为一个计算阶段, 共分 5 个计算阶段. 各个计算阶段堆体顶部划分填埋作业区、中间覆盖区和封场覆盖区 3 个区域. 各计算阶段各层填埋垃圾的龄期如表 1 所示.



P. 降雨量; R. 径流量; E. 蒸发及蒸腾量; EX. 垃圾持水能力变化产生的水分; L. 渗滤液产量; RT. 因水能及时导排堆体中渗滤液积存量; LD. 渗滤液排出量

图 6 分阶段作业填埋场水量平衡分析模型

Fig. 6 Schematic for analysis of water balance in staged landfill

表 1 不同计算阶段填埋垃圾层序和龄期

计算阶段	每层垃圾的填埋龄期/a				
	第 1 层	第 2 层	第 3 层	第 4 层	第 5 层
阶段 1 (0~2 a)	1	—	—	—	—
阶段 2 (2~4 a)	3	1	—	—	—
阶段 3 (4~6 a)	5	3	1	—	—
阶段 4 (6~8 a)	7	5	3	1	—
阶段 5 (8~10 a)	9	7	5	3	1

根据水量平衡分析,每个计算阶段的填埋场渗滤液产生量可用下式计算:

$$L_n = (P_n - E_n - R_n) + E_{Xn} \quad (1)$$

式中, L_n 为第 n 个计算阶段的渗滤液产量(m^3); P_n 为第 n 个计算阶段的降雨量(m^3); E_n 为第 n 个计算阶段的蒸发及蒸腾量(m^3); R_n 为第 n 个计算阶段的径流量(m^3); E_{Xn} 为第 n 个计算阶段内各龄期(各层)自身产生(或吸收)水量(m^3).

$P_n - E_n - R_n$ 为降雨入渗产生的水量,文献[6]中的渗滤液产量计算方法,就是仅考虑了这部分水量. 为便于比较分析,借鉴该规范中采用的计算方法和参数取值进行降雨入渗产生的水量计算,如式(2):

$$(P_n - E_n - R_n) = \frac{I_n}{1\,000} \times (C_{L1}A_1 + C_{L2}A_2 + C_{L3}A_3) \quad (2)$$

式中, I_n 为第 n 个计算阶段内降雨量(mm); A_1 为填埋作业区域汇水面积(m^2); C_{L1} 为埋作业区域渗出系数,一般取 0.5~0.8; A_2 为中间覆盖区域汇水面积(m^2); C_{L2} 为中间覆盖区域渗出系数,宜取(0.4~0.6) C_1 ; A_3 为终场覆盖区域汇水面积(m^2); C_{L3} 为终场覆盖区域渗出系数,0.1~0.2.

第 n 个计算阶段垃圾自身渗滤液产量(或吸收量),即为该阶段各龄期(各层)垃圾自身渗滤液产量的加和,例如,第 5 个计算阶段垃圾自身渗滤液产量使用式(3)计算:

$$E_{X5} = E_{X5}^1 + E_{X5}^2 + E_{X5}^3 + E_{X5}^4 + E_{X5}^5 \quad (3)$$

式中, E_{X5} 为第 5 个计算阶段内各龄期(各层)垃圾自身渗滤液产量(或吸收量)(m^3); $E_{X5}^1 \sim E_{X5}^5$ 为第 5 个计算阶段内,第 1 层~第 5 层垃圾自身渗滤液产量(或吸收量)(m^3).

某阶段某层垃圾自身渗滤液产量,使用该层垃圾前一阶段龄期田间持水量与本阶段龄期田间持水量做差,再与该层垃圾量乘积得到,例如第 5 个计算阶段第 1 层垃圾自身渗滤液产量(或吸收量)用式

(4)计算:

$$E_{X5}^1 = \frac{M_1 \times (W_{R9} - W_{R7})}{\rho_w} \quad (4)$$

式中, E_{X5}^1 为第 5 个计算阶段内,第 1 层垃圾自身渗滤液产量(或吸收量)(m^3); M_1 为第 1 层垃圾填埋量(t); W_{R9} 为第 1 层填埋垃圾在第 4 个计算阶段对应龄期(平均龄期为 7 a,参见表 1)的田间持水量,以质量含水率(%)表达,根据图 4、图 5 取值; W_{R7} 为第 1 层填埋垃圾在第 5 个计算阶段对应龄期(平均龄期为 9 a,参见表 1)的田间持水量,以质量含水率(%)表达,根据图 4、图 5 取值; ρ_w 为水的密度($\text{t} \cdot \text{m}^{-3}$).

根据图 4 和图 5,龄期为 1、3、5、7、9 a 的填埋垃圾的田间持水量分别确定为: $W_{R1} = 40\%$ 、 $W_{R3} = 34\%$ 、 $W_{R5} = 32\%$ 、 $W_{R7} = 30\%$ 、 $W_{R9} = 29\%$.

结合式(1)~(4),可计算出第 n 个计算阶段的渗滤液产量. 而每个计算阶段内日均渗滤液产量可用式(5)计算:

$$L_{n\text{日均}} = \frac{L_n}{730} \quad (5)$$

式中, n 为水量平衡计算阶段; $L_{n\text{日均}}$ 为第 n 个计算阶段日均渗滤液产量(m^3); 730 为第 n 个计算阶段的天数,为 2 a,计 730 d.

则整个计算周期内日均渗滤液产量可用式(6)计算:

$$L_{\text{总日均}} = \sum_{n=1}^5 L_{n\text{日均}} / 3\,650 \quad (6)$$

式中, n 为水量平衡计算阶段; $L_{\text{总日均}}$ 为整个计算周期内日均渗滤液产量(m^3); L_n 为第 n 个计算阶段的渗滤液产量(m^3); 3 650 为本次计算周期的天数,10 a 计 3 650 d.

2.2 初始含水率对日均渗滤液产量的影响

按图 6 所示的模型尺寸,并考虑填埋场宽度为 500 m,当填埋垃圾初始含水率分别为 27%、40%、50% 和 60% 时,计算结果如图 7、图 8 所示:按式(6)计算得到的日平均渗滤液产量分别为 272、583、823 和 1 063 $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$; 其数值上由两部分组成,即按式 2 计算得到的降雨入渗产生的水量(即现行规范中采用的渗滤液产量计算方法)与按式(3)、式(4)计算得到的垃圾自身渗滤液产量(或吸收量).

按式(2)计算得到的降雨入渗产生的水量与填埋垃圾初始含水率无关,均为 415 $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$; 按式(3)、式(4)计算得到的垃圾自身渗滤液产量(或吸收量)随填埋垃圾初始含水率增加而显著增大,分

别为 -144、168、408 和 647 $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ 。

分析计算结果可知,现行规范渗滤液产量计算方法未考虑填埋自身渗滤液产量(或吸收量),当填埋垃圾初始含水率低于其填埋后田间持水量时,因该计算方法未考虑垃圾自身吸收的水分,计算结果偏大,工程上可取得较为保守的计算结果;而当填埋垃圾初始含水率高于田间持水量时,因该方法未考虑垃圾自身析出的水分,计算结果将偏小,且随填埋垃圾初始含水率的增大,偏差越大。本计算中,当填埋垃圾初含水率为 50% 时,垃圾自身产生的水量为 408 $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$,已接近于降雨入渗产生的水量;我国大部分地区填埋垃圾的初始含水率普遍高于 50%,达到了 50% ~ 60%,填埋后垃圾自身产生的水量,是渗滤液产量的主要部分。如果在进行渗滤液产量计算时,不考虑这部分渗滤液量,将明显低估实际运行时填埋场渗滤液产量。

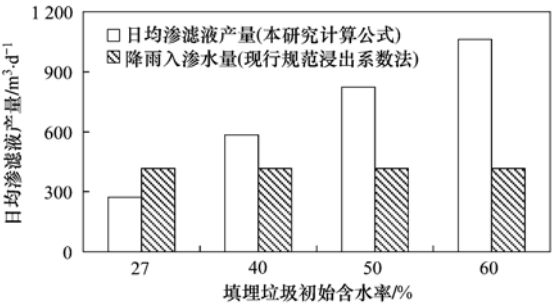


图 7 填埋垃圾初始含水率与日均渗滤液产量

Fig. 7 Total leachate generation rate for different initial moisture contents of waste

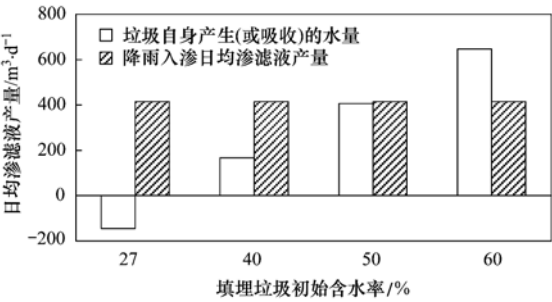


图 8 填埋垃圾初始含水率与渗滤液来源对比

Fig. 8 Source contrast of leachate for different initial moisture contents of waste

2.3 各计算阶段高初始含水率填埋垃圾日均渗滤液产量变化规律

以初始含水率 50% 为例,对每个计算阶段的日均渗滤液产量和来源进一步分析,如图 9 所示。整个计算周期 10 a 内日均渗滤液产量 823 $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ 。5

个阶段日均渗滤液产量分别为 728、907、849、781 和 849 $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$,均接近于平均值 823 $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ 。5 个阶段垃圾自身渗滤液产量分别为 240、384、432、479 和 503 $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$,随垃圾存量和平均龄期的增加逐渐增加。因降雨入渗产生的水量分别为 489、524、418、302 和 346 $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$,其计算结果与每个计算阶段的覆盖条件有关。在第 1 和第 2 计算阶段,因处于填埋初期,堆体内垃圾存量较小,且堆体高度处于垃圾坝之下,雨污分流难度较大,降雨入渗产生的日均渗滤液较大;在后 3 个计算阶段,随垃圾堆体存量的增加,以及堆体填高后雨污分流效果的改善,垃圾自身产生的水量大于因降雨入渗产生的水量,成为填埋场渗滤液的主要来源。由此可见,对于初始含水率高的填埋场,当运行时间较长,垃圾存量较大时,垃圾自身渗滤液产量也越大,成为总渗滤液产量的重要组成部分。

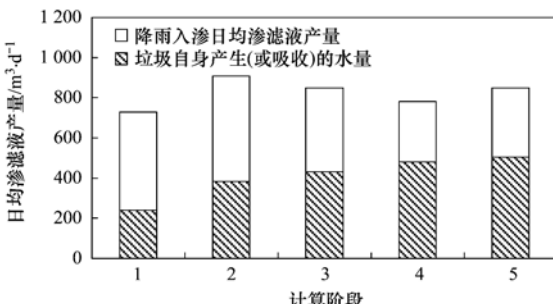


图 9 初始含水率 50% 条件下逐阶段渗滤液产量及来源

Fig. 9 Generation rate and source contrast of leachate for different stage in initial moisture contents 50%

3 渗滤液产量修正计算公式

3.1 渗滤液产量修正计算公式提出

如前所述,我国现行规范中规定的渗滤液产量计算方法,也是目前设计中普遍采用的“浸出系数法”,仅考虑了因降雨入渗产生的水量,忽略了垃圾自身产生(或吸收)的水量。中国填埋垃圾初始含水率普遍较高,若计算时不考虑这部分量,将使计算结果偏低。

按照前述方法建立水量平衡模型,分阶段计算,可较为准确的计算垃圾自身渗滤液产量(或吸收量),但计算过程复杂,设计较难采用。考虑设计计算取值宜偏保守的原则,垃圾自身渗滤液产量(或吸收量)可以用初始含水率和最终田间持水量的差值与填埋量乘积计算。

则现行标准中渗滤液产量计算公式可修正为:

$$L = \frac{I_d}{1\,000} \times (C_{L1}A_1 + C_{L2}A_2 + C_{L3}A_3)$$

$$+ \frac{M_d \times (M_s - W_R)}{\rho_w} \quad (7)$$

式中, L 为日均渗滤液产量 ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$); I_d 为日均降雨量 ($\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$); A_1 为填埋作业区域汇水面积 (m^2); C_{L1} 为填埋作业区域渗出系数, 一般取 0.5 ~ 0.8; A_2 为中间覆盖区域汇水面积 (m^2); C_{L2} 为中间覆盖区域渗出系数, 宜取 (0.4 ~ 0.6) C_1 ; A_3 为终场覆盖区域汇水面积 (m^2); C_{L3} 为终场覆盖区域渗出系数, 0.1 ~ 0.2; M_d 为日均填埋垃圾量 ($\text{t} \cdot \text{d}^{-1}$); M_s 为填埋垃圾初始含水率, 以质量含水率形式表达 (%); W_R 为降解后填埋垃圾的田间持水量, 以质量含水率形式表达 (%); ρ_w 为水的密度 ($\text{t} \cdot \text{m}^{-3}$).

3.2 渗滤液产量计算公式计算结果对比

按图 6 所示的模型尺寸, 考虑填埋场宽度为 500 m, 使用现行规范渗滤液产量计算公式、式 (7) 所示的修正计算公式和第 2 节精细计算方法等 3 种计算方法, 对不同初始含水率条件下日均渗滤液产量进行对比计算, 结果如图 10 所示.

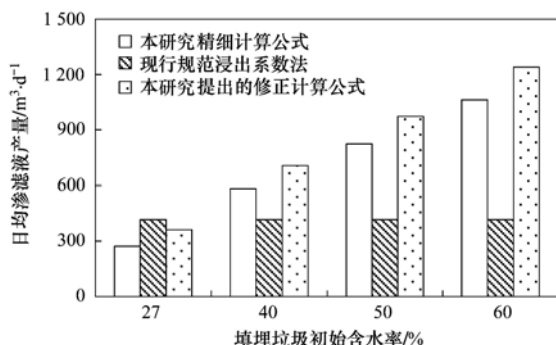


图 10 3 种渗滤液产量计算公式计算结果对比

Fig. 10 Leachate generation rate calculated by three formulas

由图 10 可见, 与精细计算结果相比较, 当填埋垃圾初始含水率为 27% 时, 现行规范浸出系数法和本研究提出的修正计算公式计算结果均较为接近. 但随着填埋垃圾初始含水率提高, 浸出系数法计算结果偏差越来越大. 当初始含水率为 50% 时, 计算结果偏低近一半; 而当初始含水率为 60% 时, 计算结果偏低 60%. 现行规范中浸出系数法应用于垃圾初始含水率较高的填埋场时, 误差较大.

本研究提出的修正计算公式与精细计算公式相比较, 在任何含水率条件下, 前者计算结果均比后者稍大, 且随初始含水率提高, 偏差率越小. 当初始含水率为 27% 时, 前者偏大 33%, 当初始含水率 60% 时, 偏大 17%. 修正计算公式计算结果符合设计偏安全、偏保守的原则, 可在实际工程中采用.

3.3 修正计算公式计算结果与实测数据对比

根据广州兴丰填埋场和老港四期填埋场的运行实测资料, 对式 (8) 进行了验证.

广州兴丰填埋场实测资料周期为 2007 年 1 月 ~ 2009 年 12 月, 共计 3 a. 该场垃圾初始含水率为 55%; 2002 年投运, 至计算时最大填埋龄期 8 a, 填埋高度超过 80 m, 由图 4 和图 5, 确定降解后田间持水量取值 30%.

广州兴丰填埋场计算结果如图 11 (a) 所示. 在 2007 年 1 月 ~ 2009 年 12 月间, 填埋场日均填埋量 $7\,053 \text{ t} \cdot \text{d}^{-1}$, 实测日均渗滤液产量为 $2\,328 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$, 渗滤液产量与日均填埋量比值为 33.0%. 利用现行规范“浸出系数法”计算得到的日均渗滤液产量为 $271 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$, 为填埋规模的 3.8%, 明显偏小; 利用本研究提出的修正计算公式计算得到的日均渗滤液产量为 $2\,034 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$, 与实测值接近.

上海老港四期填埋场实测资料周期为 2005 年 3 月 ~ 2008 年 9 月, 共计 43 个月. 该场垃圾初始含水率为 54%; 2005 年投运, 至计算时最大填埋龄期 4 a, 填埋高度超过 30 m, 由图 4 和图 5, 确定降解后田间持水量取值 34%.

上海老港四期填埋场计算结果如图 11 (b) 所示. 在 2005 年 3 月至 2008 年 9 月间, 填埋场日均填埋量 $5\,160 \text{ t} \cdot \text{d}^{-1}$, 实测日均渗滤液产量为 $1\,356$

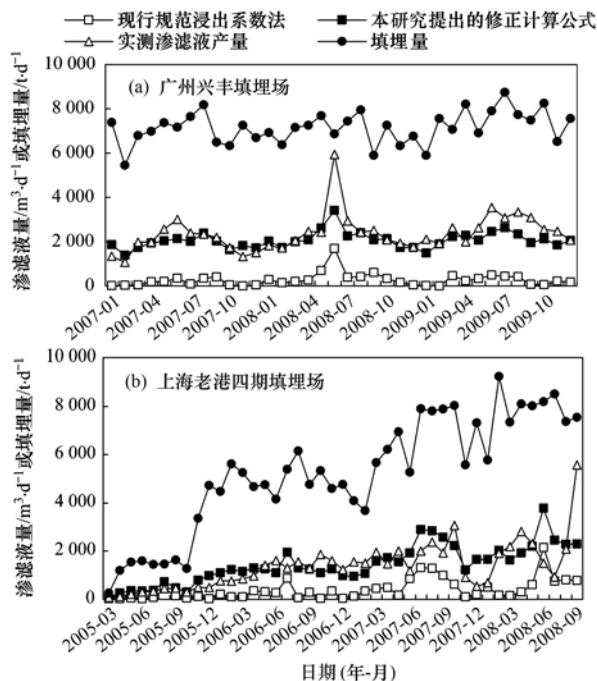


图 11 不同方法渗滤液产量计算结果与实测值对比

Fig. 11 Calculated leachate generation rate by different method in comparison with the real data

$\text{mm}^3 \cdot \text{d}^{-1}$, 渗滤液产量与日均填埋量比值为 26.3%。利用现行规范浸出系数法计算得到的日均渗滤液产量为 $397 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$, 为填埋规模的 7.7%, 明显偏小; 利用修正计算公式计算得到的日均渗滤液产量为 $1\,428 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$, 与实测值接近。

4 结论

(1) 田间持水量表征垃圾的持水能力, 若垃圾含水率高于田间持水量, 水分可以在重力条件下运移、排泄, 形成渗滤液。中国填埋垃圾初始含水率远大于填埋后垃圾的田间持水量, 随降解压缩水分析出形成渗滤液。

(2) 本研究模拟实际填埋作业过程, 建立水量平衡分析模型, 详细分析了填埋垃圾初始含水率对垃圾自身渗滤液产量(或吸收量)和总渗滤液产量的影响。

(3) 分析结果表明: 填埋垃圾初始含水率越高, 垃圾自身渗滤液产量越高, 渗滤液总产量也越高。当填埋垃圾初始含水率高于 50% 时, 填埋后垃圾自身渗滤液产量成为渗滤液总产量的主要组成部分。

(4) 现行规范采用的渗滤液产量计算方法——浸出系数法, 仅考虑了降雨入渗量, 未考虑填埋后垃圾自身渗滤液产量, 当填埋垃圾初始含水率较高时, 计算结果明显偏小。基于水量平衡分析和垃圾自身渗滤液产生机制, 本研究提出了渗滤液产量修正计算公式, 并采用广州兴丰填埋场和老港四期填埋场的实测数据进行了验证。

(5) 针对中国填埋场普遍存在的渗滤液水位高的问题, 接下来需要进一步研究渗滤液产量、填埋垃圾渗透系数变化、导排层淤堵等因素对堆体水位和水分运移规律的影响; 并在此基础上探索适合中国填埋场实际情况的渗滤液导排与水位控制技术。

参考文献:

- [1] 刘战宇, 何翔, 梁军, 等. 垃圾填埋场的渗滤液产量计算及流场分布预测 [J]. 能源环境保护, 2003, 17(4): 30-33.
- [2] 孙钥, 李国建. 垃圾渗滤水水量计算中的几个问题 [J]. 环境卫生工程, 1998, 6(4): 139-140.
- [3] 王学华, 胡玉才, 吴健民. 山谷型垃圾填埋场渗滤液水量计算方法比较研究 [J]. 城市环境与城市生态, 1995, 8(4): 38-41.
- [4] 黄志中, 弓晓峰. 山谷型垃圾卫生填埋场渗滤液水量计算 [J]. 江西化工, 2005, 21(1): 89-92.
- [5] Qian X D, Koerner R M, Gray D H. Geotechnical aspects of landfill design and construction [M]. New Jersey: Prentice-Hall, 2002. 576-602.
- [6] HJ564-2010, 生活垃圾填埋场渗滤液处理工程技术规范 [S].
- [7] CJ/T 313-2009, 城市生活垃圾采样和物理分析方法 [S].
- [8] 温俊明, 吴俊锋. 中国城市生活垃圾特性及焚烧处理现状 [J]. 上海电气技术, 2009, 2(1): 43-48.
- [9] 赵吉, 孙卫国, 杨加利, 等. 呼和浩特市城市生活垃圾组成及特性分析 [J]. 内蒙古大学学报(自然科学版), 2005, 36(1): 100-103.
- [10] 倪娜, 洪国才. 杭州市城市生活垃圾物理化学特性及处置对策 [J]. 环境卫生工程, 2005, 13(5): 31-36.
- [11] 秦宇飞, 白焰, 王潇, 等. 北京市朝阳区城市生活垃圾组分分布特性研究 [J]. 环境工程学报, 2009, 3(8): 1499-1502.
- [12] 生活垃圾卫生填埋场岩土工程技术规范编制组. 规范编制现场调研报告 [R]. 杭州: 浙江大学, 2010. 1-120.
- [13] Zornberg J G, Jernigan B L, Sanglerat T R, et al. Retention of free liquids in landfills undergoing vertical expansion [J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 1999, 125(7): 583-594.
- [14] Benbelkacem H, Bayard R, Abdelhay A, et al. Effect of leachate injection modes on municipal solid waste degradation in anaerobic bioreactor [J]. Bioresource Technology, 2010, 101(14): 5206-5212.
- [15] Krishna R R, Hiroshan H, Naveen S P, et al. Geotechnical properties of fresh municipal solid waste at Orchard Hills Landfill, USA [J]. Waste Management, 2009, 29(2): 952-959.
- [16] Patumsawad S, Cliffe K R. Experimental study on fluidised bed combustion of high moisture municipal solid waste [J]. Energy Conversion and Management, 2002, 43(17): 2329-2340.
- [17] Gidarakos E, Havas G, Ntzamilis P. Municipal solid waste composition determination supporting the integrated solid waste management system in the island of Crete [J]. Waste Management, 2006, 26(6): 668-679.
- [18] Oweis I S, Smith D A, Ellwood R B, et al. Hydraulic characteristics of municipal refuse [J]. Journal of Geotechnical Engineering, 1990, 116(4): 539-553.
- [19] De Velásquez M T O, Cruz-Rivera R, Rojas-Valencia N, et al. Determination of field capacity of municipal solid waste with surcharge simulation [J]. Waste Management & Research, 2003, 21(2): 137-144.
- [20] Uguccioni M, Zeiss C. Improvement of leachate prediction through municipal solid waste layers [J]. Journal of the American Water Resources Association, 1997, 33(6): 1265-1278.
- [21] Blight G E, Ball J M, Blight J J. Moisture and suction in sanitary landfills in semiarid areas [J]. Journal of Environmental Engineering, 1992, 118(6): 865-877.
- [22] 魏海云. 城市生活垃圾填埋场气体运移规律研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2007. 40-53.
- [23] 张振营. 城市生活垃圾的压缩性及填埋场的沉降研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2005. 17-32.

- [24] Kazimoglu Y K, McDougall J R, Pyrah I C. Unsaturated hydraulic conductivity of landfill waste [A]. In: Miller G A, Zapata C E, Houston S L, *et al.* Unsaturated soils 2006 [C]. Reston: ASCE, 2006. 1525-1534.
- [25] Zhan T L T, Chen Y M, Ling W A. Shear strength characterization of municipal solid waste at the Suzhou landfill, China [J]. *Engineering Geology*, 2008, **97**(3-4): 97-111.
- [26] Korfiatis G P, Demetropoulos A C, Bourodimos E L, *et al.* Moisture transport in a solid column [J]. *Journal of Environmental Engineering*, 1984, **110**(4): 780-796.
- [27] Laurent J P, Olivier F, Gourc J P. Monitoring moisture content in municipal solid waste: results of a preliminary test under laboratory conditions [R]. Grenoble: Grenoble University, 2005. 1-4.
- [28] Hernández-Berriel M C, Márquez-Benavides L, González-Pérez D J, *et al.* The effect of moisture regimes on the anaerobic degradation of municipal solid waste from Metepec (México) [J]. *Waste Management*, 2008, **28**(S1): S14-S20.

《环境科学》编辑部关于启用编辑信息管理系统公告

《环境科学》编辑部已经开通本刊网站并启用编辑信息管理系统(网站地址:<http://www.hjcx.ac.cn>)。该系统能实现在线投稿、在线审稿、期刊浏览检索等功能,欢迎广大作者、读者和审稿专家使用。目前我刊所有来稿都通过网站编辑信息管理系统进行。作者使用编辑信息管理系统投稿时请先进行注册,注册完毕后以作者身份登录,按照页面上给出的提示投稿即可。如果您在使用过程中有问题,请及时与我刊编辑部联系。

邮政地址:北京市海淀区双清路18号《环境科学》编辑部

邮 编:100085

电 话:010-62941102,010-62849343

传 真:010-62849343

E-mail:hjcx@rcees.ac.cn

网 址:www.hjcx.ac.cn

CONTENTS

Quantitative Estimation Source of Urban Atmospheric CO ₂ by Carbon Isotope Composition	LIU Wei, WEI Nan-nan, WANG Guang-hua, <i>et al.</i> (1041)
Moisture Sources of Guangzhou During the Freezing Disaster Period in 2008 Indicated by the Stable Isotopes of Precipitation	LIAO Cong-yun, ZHONG Wei, MA Qiao-hong, <i>et al.</i> (1050)
Optical Properties of Aerosol During Haze-Fog Episodes in Beijing	YU Xing-na, LI Xin-mei, DENG Zen-grandeng, <i>et al.</i> (1057)
Secondary Organic Tracers in Summer PM _{2.5} Aerosols from Baima Spring Scenic Area, Yaan, Sichuan Province	DAI Dong-jue, LI Li, LIU Zi-fang, <i>et al.</i> (1063)
Source Profile and Chemical Reactivity of Volatile Organic Compounds from Vehicle Exhaust	QIAO Yue-zhen, WANG Hong-li, HUANG Cheng, <i>et al.</i> (1071)
<i>Platanus orientalis</i> Foliar N% and $\delta^{15}\text{N}$ Responses to Nitrogen of Atmospheric Wet Deposition in Urban Area	WANG Yan-li, XIAO Hua-yun, XIAO Hong-wei (1080)
Distribution and Controlling Factors of Nitric Oxide Concentrations in Surface Seawater of Jiaozhou Bay and Adjacent Waters	XUE Chao, LIU Chun-ying, YANG Gui-peng, <i>et al.</i> (1086)
Uncertainty Characterization Approaches for Ecological Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon in Taihu Lake	GUO Guang-hui, WU Feng-chang, HE Hong-ping, <i>et al.</i> (1091)
Preliminary Analysis of Spatiotemporal Variation of Water Quality and Its Influencing Factors in the Jiulong River Watershed	HUANG Jin-liang, HUANG Ya-ling, LI Qing-sheng, <i>et al.</i> (1098)
Ecological Stoichiometric Relationships of Periphyton Community Elemental Composition and Variations of Water Quality in the Chaobai River	 CUI Jing-guo, SHAN Bao-qing, WANG Shuai (1108)
Diurnal Variation and Evaluation of Water Quality of Panxi River in Spring	ZHANG Qian-qian, WANG Xiao-ke, HAO Li-ling, <i>et al.</i> (1114)
Weathering Seasonal Variations in Karst Valley in Southwest China	XIAO Qiong, SHEN Li-cheng, YANG Lei, <i>et al.</i> (1122)
Algal Community Structure and Water Quality Assessment on Drawdown Area of Kaixian Waters in Three Gorges Reservoir During Winter Storage Period	 GUO Jing-song, XIE Dan, LI Zhe, <i>et al.</i> (1129)
Characteristics of Phytoplankton Community Changes in Dianshan Lake During Peak Period of Algal Blooms	XU Chun-yan, YANG Jie, MA Ming-rui, <i>et al.</i> (1136)
Nitrogen and Phosphorus Release from Herbaceous Vegetation Under Simulated Inundation Experiment of Water-Level Fluctuation Zone in the Three Gorges Reservoir Area	 WANG Jian-chao, ZHU Bo, WANG Tao, <i>et al.</i> (1144)
Output Characteristics of Non-point Phosphorus from a Typical Small Watershed in Yimeng Mountainous Area Under the Special Rainfall	LI Zhen-wei, YU Xing-xiu, LIU Qian-jin, <i>et al.</i> (1152)
Distribution and Bioavailability of Nitrogen and Phosphorus Species in the Urban Dusts from Hefei City	LI Ru-zhong, ZHOU Ai-jia, TONG Fang, <i>et al.</i> (1159)
Distribution and Pollution Characteristics of Nutrients and Heavy Metals in Sediments of Hedi Reservoir	ZHANG Hua-jun, CHEN Xiu-kang, HAN Bo-ping, <i>et al.</i> (1167)
Heavy Metals Distribution and Risk Assessment of Sediments in the Riverine Wetland of Sanmenxia Reservoir	AO Liang, SHAN Bao-qing, ZHANG Hong, <i>et al.</i> (1176)
Regional Distribution and Ecological Risk Evaluation of Heavy Metals in Surface Sediments from Coastal Wetlands of the Yellow River Delta	 LIU Zhi-jie, LI Pei-ying, ZHANG Xiao-long, <i>et al.</i> (1182)
Calculation of Environmental Dredging Depth of Heavy Metal Polluted Sediments in Zhushan Bay of Taihu Lake	JIANG Xia, WANG Wen-wen, WANG Shu-hang, <i>et al.</i> (1189)
Characteristics of PAHs Pollution in Sediments from Leizhou Coastal Marine Area, Liusha Bay and Shenzhen Bay	ZHAO Li-rong, SUN Sheng-li, KE Sheng (1198)
Distribution Characteristics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Black Carbon in Road Dusts from Typical Cities of China and India	PAN Su-hong, ZHANG Gan, SUN Ya-li, <i>et al.</i> (1204)
Waterborne Iron Migration by Groundwater Irrigation Pumping in a Typical Irrigation District of Sanjiang Plain	ZOU Yuan-chun, YU Xiao-fei, HUO Li-li, <i>et al.</i> (1209)
Research on Controlling Iron Release of Desalted Water Transmitted in Existing Water Distribution System	TIAN Yi-mei, LIU Yang, ZHAO Peng, <i>et al.</i> (1216)
Exploration of Newly-Formed Ferric as the Coagulant	YANG Xue, ZHANG Jing-cheng, GUAN Xiao-hong (1221)
Degradation of Medroxyprogesterone in Drinking Water by Ozone Oxidation	YUE Chan-yuan, MIAO Heng-feng, REN Hong-yan, <i>et al.</i> (1227)
Synthesis of Core/Shell Structured Magnetic Carbon Nanoparticles and Its Adsorption Ability to Chlortetracycline in Aquatic Environment	 WANG Yi-xuan, ZHANG Di, NIU Hong-yun, <i>et al.</i> (1234)
Removal of Nickel from Aqueous Solutions Using Complexation-Ultrafiltration Process	QIN Shu, SHAO Jia-hui, HE Yi-liang, <i>et al.</i> (1241)
Degradation of Organic Pollutants by Photo-Fenton-Like System with Hematite	ZHANG Yu, GU Yan, YANG Hui, <i>et al.</i> (1247)
Study on the Degradation of Atrazine in Photo-Fenton-Like System Under Visible Light Irradiation Promoted by N-doped Ta ₂ O ₅	ZHAO Lu, DENG Yi-rong, DU Ying-xun, <i>et al.</i> (1252)
Degradation of Prometon by O ₃ /H ₂ O ₂	LI Shao-feng, SUN Chu (1260)
Photoelectrocatalytic Degradation Kinetics of Malachite Green by Pr-N Co-doped TiO ₂ Photocatalyst	SHA Shuang, ZHOU Shao-qi, ZHANG Xiao-na, <i>et al.</i> (1267)
Experimental Study on Acid Mine Drainage Treatment Using Mine Tailings of Xiangsi Valley, Tongling, China	ZHANG Nan, CHEN Tian-hu, ZHOU Yue-fei, <i>et al.</i> (1272)
Effect of Polymeric Aluminum-iron on EPS and Bio-flocculation in A ² /O System	WEN Qin-xue, LIU Ai-cui, CHEN Zhi-qiang, <i>et al.</i> (1278)
Effect of Temperature on Pollutant Removal and Nitrous Oxide Emission of Wastewater Nitrogen Removal System	ZHANG Ting-ting, ZHANG Jian, YANG Fang, <i>et al.</i> (1283)
Effect of Temperature on Stability of Nitrogen Removal in the ANAMMOX Reactor	LI Xiang, HUANG Yong, ZHENG Yu-hui, <i>et al.</i> (1288)
Phosphorus Removal Characteristics by Aerobic Granules in Normal Molasses Wastewater After Anaerobic Treatment	WANG Shuo, YU Shui-li, SHI Wen-xin, <i>et al.</i> (1293)
Physicochemical Characteristics of Granules with Different Size in a Granular Sludge System for Phosphorus Removal	LI Zhi-hua, ZHANG Yu-rong, YANG Fan, <i>et al.</i> (1299)
Denitrifying Bacteria of Constructed Wetland System Based on Nitrous Oxide Reductase Gene (<i>nosZ</i>)	WANG Xiao-jun, CHEN Shao-hua, ZHANG Zhao-ji, <i>et al.</i> (1306)
Improving Degradation Ability of an Aerobic Denitrifier by Ultraviolet Mutagenesis	YU Jia-jia, CHEN Jun, YANG Xuan, <i>et al.</i> (1313)
Characteristics of the Extracellular Polymeric Substances of a Heterotrophic Nitrifying Bacterium Strain	CHEN Zhe, ZHANG Bin, SEN Zhi-qiang, <i>et al.</i> (1318)
Study on Toxic Effects of Ammonia on Embryonic and Yolk-sac Stage Larvae of Rare minnow	WANG Zhi-jian, LU Zeng-hui, SHI Ping (1323)
Effects of Continuous Cropping of Vegetables on Ammonia Oxidizers Community Structure	MENG De-long, YANG Yang, WU Yan-zheng, <i>et al.</i> (1331)
Impact of Biochar Amendment on the Sorption and Dissipation of Chlorantraniliprole in Soils	WANG Ting-ting, YU Xiang-yang, SHEN Yan, <i>et al.</i> (1339)
Quantifying Rice (<i>Oryza sativa</i> L.) Photo-assimilated Carbon Input into Soil Organic Carbon Pools Following Continuous ¹⁴ C Labeling	NIE San-an, ZHOU Ping, GE Ti-da, <i>et al.</i> (1346)
Compositions and Diagnostic Ratios of Heavily Degraded Crude Oil Residues in Contaminated Soil in Oilfields	WANG Jian, ZHANG Xu, LI Guang-he (1352)
Study on Equilibrium Adsorption of Volatile Chlorinated Hydrocarbons on Humid Soils	MENG Fan-yong, LIU Rui, Kobayashi Takeshi, <i>et al.</i> (1361)
Toxicity and Accumulation of Copper and Nickel in Wheat Plants Cropped on Alkaline and Acidic Field Soils	HUANG Jin-sun, WEI Dong-pu, GUO Xue-yan, <i>et al.</i> (1369)
Change Traits of Phosphorous Consumption Structure in China and Their Effects on Environmental Phosphorous Loads	MA Dun-chao, HU Shan-ying, CHEN Ding-jiang, <i>et al.</i> (1376)
Research Based on 3MRA Model About the Risk Assessment Methods and Applications of the Landfill Waste	YUAN Ying, XI Bei-dou, HE Xiao-song, <i>et al.</i> (1383)
Impacts of Initial Moisture Content of MSW Waste on Leachate Generation and Modified Formula for Predicting Leachate Generation	LAN Ji-wu, ZHAN Liang-tong, LI Yu-chao, <i>et al.</i> (1389)
Transformation of Dibutyl Phthalate in Bioreactor Landfill	FANG Cheng-ran, LONG Yu-yang, SHEN Dong-sheng (1397)
Kriging Analysis of Vegetation Index Depression in Peak Cluster Karst Area	YANG Qi-yong, JIANG Zhong-cheng, MA Zu-lu, <i>et al.</i> (1404)

《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)

2012年4月15日 33卷 第4期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 4 Apr. 15, 2012

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: 70.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行